



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Bruno Manuel de Sá Pereira

A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS
Análise Comparativa da Regulamentação Aplicável na
Península Ibérica

Mestrado em Construções Cívicas
Engenharia Civil e do Ambiente

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor José Manuel Ferreira da Silva

Julho de 2014

MEMBROS DO JÚRI

PRESIDENTE

Professor Doutor Mário Russo

ARGUENTE

Professor Doutor António Curado

ORIENTADOR

Professor Doutor José Ferreira da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação através do apoio, partilha de ideias e de experiências profissionais.

Ao meu orientador, Professor Doutor José Ferreira da Silva, pela disponibilidade demonstrada durante toda a fase de elaboração desta tese, pelos conselhos e pela partilha de documentos relacionados com o tema.

A toda a minha família pela motivação e apoio demonstrado durante toda a minha vida académica.

Aos meus amigos pela paciência, amizade, partilha de ideias e opiniões e todas as discussões construtivas que ajudaram durante toda a vida académica e na realização desta dissertação.

E todos aqueles que de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho.

RESUMO

O consumo de energia nos edifícios é em toda a Europa muito significativo. Quer ao nível das soluções construtivas, quer ao nível dos sistemas e equipamentos, pode ser tomado um conjunto de medidas com um impacto francamente positivo nesse consumo.

Neste contexto, a União Europeia tem vindo a implementar directivas relativas ao desempenho energético dos edifícios com vista à sua melhoria. Essas directivas são subsequentemente transpostas para os vários estados-membro, traduzindo-se em regra em documentos regulamentares.

Esta dissertação analisa a aplicação da regulamentação portuguesa (RCCTE) e espanhola (CET) para o caso de um mesmo edifício, situado numa mesma área geográfica, comparando os pressupostos e procedimentos de cálculo e os respectivos resultados.

Conclui-se através dos resultados obtidos face aos valores limite/referência, revelam grosso modo uma maior exigência do CTE face ao RCCTE e no primeiro caso os valores obtidos aproximam-se mais significativamente dos limites/referência.

Palavras-chave: energia em edifícios; eficiência energética em edifício; térmica de edifícios; desempenho térmico.

ABSTRACT

Energy consumption in buildings is very significant throughout Europe. In terms of both construction solutions and systems and equipment, measures can be taken with a very positive impact in consumption.

In this context, the European Union has implemented Directives concerning the energy performance of buildings (EPBD) aiming the improvement of its efficiency. These directives are subsequently transposed across member states, through laws and regulations implemented at national level.

This thesis analyzes the application of portuguese regulation (RCCTE) and spanish regulation (CET) for the case of a building located in the same geographical area, comparing the assumptions, calculation procedures and results.

By the results obtained it is concluded against limit/reference values, shows roughly a higher requirement of CTE compared to RCCTE and in the first case the values obtained more significantly approximate their limits/reference.

Keywords: energy in buildings; energy performance; thermal performance.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição de consumo de energia final por sector – Portugal, 2009 [9]	4
Figura 2.2 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização – Portugal, 2010 [9]	5
Figura 2.3 – Distribuição de consumo de energia final por sector – Espanha, 2008 [14]	6
Figura 2.4 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização – Espanha, 2007 [14]	6
Figura 2.5 – Situação em Portugal.....	9
Figura 3.1 – Planta do piso Rés-do-Chão.....	22
Figura 3.2 – Planta do Piso 1	23
Figura 3.3 – Planta da Cobertura.....	24
Figura 3.4 – Corte C1 da Moradia.....	25
Figura 3.5 – Corte C2 da Moradia.....	25
Figura 3.6 – Alçado Norte da Moradia	25
Figura 3.7 – Alçado Sul da Moradia.....	26
Figura 3.8 – Alçado Poente da Moradia.....	26
Figura 3.9 – Alçado Nascente da Moradia.....	26
Figura 3.10 – Caracterização da moradia: delimitação da envolvente.....	27
Figura 3.11 – Caracterização da moradia: pontes térmicas lineares	28
Figura 3.12 – Vãos envidraçados do piso rés-do-chão	29
Figura 3.13 – Vãos envidraçados do piso 1º andar	29
Figura 3.14 – Ângulo de horizonte (α) [2]	45
Figura 3.15 – Ângulo de pala horizontal (α) – Secção Vertical [15].....	46
Figura 3.16 – Ângulo da pala vertical (β) – Secção horizontal [15]	46
Figura 3.17 – Zonamento climático [15].....	50
Figura 3.18 – Limites superiores das classes de permeabilidade ao ar das caixilharias [16]60	
Figura 3.19 – Factor de utilização dos ganhos térmicos η em função do γ e da classe de inércia térmica [15]	63
Figura 3.20 – Classe energética (Adene) [17]	75
Figura 3.21 – Zonas climáticas (Anexo D do DB HE1) [3].....	78
Figura 3.22 – Esquema da envolvente térmica de um edifício [3].....	82
Figura 3.23 – Orientação das fachadas	84
Figura 3.24 – Formulário de descrição do LIDER.....	87
Figura 3.25 – Base de dados do caso de estudo (elementos opacos).....	88
Figura 3.26 – Base de dados do caso de estudo (vãos envidraçados).....	88
Figura 3.27 – Exemplo da constituição da parede exterior PE.....	89
Figura 3.28 – Catálogo das pontes térmicas	89
Figura 3.29 – Espaço de trabalho LIDER	90

Figura 3.30 – Implantação do edifício do caso de estudo	91
Figura 3.31 – Planta tridimensional do rés-do-chão do caso de estudo.....	91
Figura 3.32 – Edifício do caso de estudo.....	92
Figura 3.33 – Resultados do edifício em estudo no programa LIDER	93
Figura 3.34 – Equipamentos do edifício em estudo no programa CALENER VYP.....	94
Figura 3.35 – Classificação energética através do CALENER VYP.....	95
Figura 3.36 – Resultados detalhados através do CALENER VYP	95
Figura 4.1 – Comparação de resultados do RCCTE e CTE para aquecimento	97
Figura 4.2 – Comparação de resultados do RCCTE e CTE para arrefecimento	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Áreas do edifício	30
Tabela 3.2 – Levantamento dimensional da envolvente exterior do edifício	30
Tabela 3.3 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores PE1	32
Tabela 3.4 – Coeficiente de transmissão térmica das vigas em paredes exteriores PE1	32
Tabela 3.5 – Coeficiente de transmissão térmica dos pilares em paredes exteriores PE1 ..	33
Tabela 3.6 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores em contacto com a lavandaria/garagem.....	33
Tabela 3.7 – Coeficiente de transmissão térmica das vigas/pilares em paredes interiores PI1	34
Tabela 3.8 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores separação lavandaria e garagem PI2	34
Tabela 3.9 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores PI3.....	35
Tabela 3.10 – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior sobre a lavandaria	35
Tabela 3.11 – Coeficiente de transmissão térmica da laje sanitária	36
Tabela 3.12 – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento exterior	36
Tabela 3.13 – Coeficiente de transmissão térmica da cobertura interior sobre a garagem/lavandaria.....	37
Tabela 3.14 – Coeficiente de transmissão térmica da cobertura inclinada	37
Tabela 3.15 – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado tipo 1	38
Tabela 3.16 – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado tipo 2	38
Tabela 3.17 – Coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore	38
Tabela 3.18 – Coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos	39
Tabela 3.19 – Coeficiente de transmissão térmica linear para pontes térmicas lineares	40
Tabela 3.20 – Classe de inércia térmica interior - RCCTE	41
Tabela 3.21 – Cálculo inércia térmica.....	42
Tabela 3.22 – Factores de sombreamento dos envidraçados no Inverno.....	47
Tabela 3.23 – Factores de sombreamento dos envidraçados no Verão	49
Tabela 3.25 – Dados climáticos do caso de estudo	52
Tabela 3.26 – Verificação dos requisitos mínimos	53
Tabela 3.27 – Valores máximos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente do edifício	79
Tabela 3.28 – Valores médios de coeficiente de transmissão térmica.....	79
Tabela 3.29 – Classe Higrometria.....	80
Tabela 3.30 – Valor limite do factor de temperatura da superfície interior	80
Tabela 3.31 – Valores limite das características dos vãos envidraçados para a Zona C1 ...	81
Tabela 3.32 – Requisitos para verificação – Opção simplificada	85

Tabela 3.33 – Requisitos para verificação – Opção geral	86
Tabela 4.1 – Valores limite do RCCTE e CTE.....	96

SIMBOLOGIA

A	– Área do elemento [m ²]
A _{ext}	– Área dos elementos da envolvente exterior [m ²]
A _{env}	– Área do envidraçado [m ²]
A _{op}	– Área da envolvente opaca [m ²]
A _{int}	– Área dos elementos da envolvente interior [m ²]
A _i	– Área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil [m ²]
A _p	– Área útil de pavimento [m ²]
A _{pt int.}	– Área da ponte térmica linear [m ²]
A _{ptp}	– Área das pontes térmicas plana [m ²]
A _{total}	– Área total [m ²]
A _u	– Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior [m ²]
B	– Desenvolvimento linear [m]
b	– Factor de redução
C _p	– Calor específico do ar [J/kg.°C]
e	– Espessura do elemento [m]
e _m	– Espessura de parede [m]
e _p	– Espessura de laje [m]
E _{ren}	– Contribuição de quaisquer outras formas de energia renováveis para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais
E _{solar}	– Contribuição de sistemas colectores solares para o aquecimento de AQS
F _{caixilho}	– Percentagem de área do caixilho, em relação à área total de abertura
FF	– Factor de Forma
F _f	– Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado
F _g	– Factor da fracção envidraçada
F _h	– Factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício
F _H	– Factor solar modificado de vãos envidraçados
F _{Hlim}	– Factor solar limite de vãos envidraçados
F _L	– Factor solar modificado de clarabóias
F _{Llim}	– Factor solar limite de clarabóias
F _o	– Factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado
F _{pua}	– Factor de conversão de energia útil para energia primária de preparação de AQS [kgep/Kwh]
F _{pui}	– Factor de conversão de energia útil para energia primária de aquecimento [kgep/Kwh]
F _{puv}	– Factor de conversão de energia útil para energia primária de arrefecimento [kgep/Kwh]
f _{Rsi}	– Factor de temperatura superficial

$f_{Rsi,min}$ – Factor mínimo de temperatura superficial
 F_s – Factor de obstrução
 F_w – Factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados
 g – Factor solar do vidro (CTE)
 G – Intensidade de radiação solar instantânea incidente em cada orientação [W/m^2]
 GD – Número de graus-dias [$^{\circ}C$]
 G_{sul} – Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a Sul na estação de aquecimento [KWh/m^2]
 g_{\perp} – Factor solar dos vãos envidraçados
 $g_{\perp v}$ – Factor solar do vidro
 g'_{\perp} – Factor solar do vão envidraçado com a protecção solar móvel activada
 h_e – Condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente
 I_r – Intensidade média da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento [KWh/m^2]
 I_t – Massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento
 L_{pe} – Perdas unitárias de calor, por grau centígrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior, através de elementos de construção em contacto com o terreno [$W/^{\circ}C$]
 L_{pt} – Perdas de calor lineares unitárias, por grau centígrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior, através das pontes térmicas [$W/^{\circ}C$]
 M – Duração média da estação convencional de aquecimento [meses]
 $MAQS$ – Consumo médio diário de referência de AQS [l/dia]
 m_i – Massa do pano interior (do isolamento para o interior)
 m_{pt} – Massa do pano interior da parede (do isolamento para o interior)
 M_{si} – Massa superficial útil [kg/m^2]
 m_t – Massa total do elemento (do isolamento para o interior)
 N_a – Valor limite das necessidades nominais de energia para preparação de AQS [$KWh/m^2.ano$]
 N_{ac} – Necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias [$KWh/m^2.ano$]
 n_d – Número anual de dias de consumo de AQS
 N_i – Valor limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento [$KWh/m^2.ano$]
 N_{ic} – Necessidades de aquecimento [$KWh/m^2.ano$]
 N_t – Valor limite das necessidades nominais globais de energia primária [$Kgep/m^2.ano$]
 N_{tc} – Necessidades globais de energia primária [$Kgep/m^2.ano$]
 N_v – Valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento [$KWh/m^2.ano$]
 N_{vc} – Necessidades de arrefecimento [$KWh/m^2.ano$]
 P_d – Pé direito [m]
 P_v – Potência eléctrica de todos os ventiladores instalados [w]

Q_a – Energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS [Kwh/ano]
 Q_{ar-Sol} – Ganhos solares através da envolvente opaca devidos à incidência da radiação solar
 Q_{ext} – Perdas de calor pelas zonas correntes em contacto com o exterior [w]
 Q_g – Ganhos térmicos brutos [Kwh]
 Q_{gu} – Ganhos de calor úteis [Kwh]
 q_i – Ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento [w/m^2]
 Q_i – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor [Kwh]
 Q_{lna} – Perdas de calor pelas zonas correntes em contacto com locais não aquecidos [w]
 Q_{opaco} – Cargas através da envolvente opaca exterior [w]
 Q_{pe} – Perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo [w]
 Q_{pt} – Perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes no edifício [w]
 Q_{ra} – Perdas de calor por unidade de tempo associadas à renovação de ar interior [w]
 Q_s – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar [Kwh]
 Q_t – Perdas de calor por condução através da envolvente [w]
 Q_v – Perdas de calor resultantes da renovação de ar [Kwh]
 R – Resistência térmica [$m^2 \cdot ^\circ C/w$]
 r_i – Coeficiente de redução
 R_{ph} – Taxa de renovação horária nominal [h^{-1}]
 R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [$m^2 \cdot ^\circ C/w$]
 R_{si} – Resistência térmica superficial interior [$m^2 \cdot ^\circ C/w$]
 S_i – Área da superfície interior [m^2]
 U – Coeficiente de transmissão térmica [$w/m^2 \cdot ^\circ C$]
 U_C – Transmissão térmica da cobertura [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Clim} – Transmissão térmica limite das coberturas [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Cm} – Transmissão térmica média das coberturas [$w/m^2 \cdot k$]
 U_H – Transmissão térmica de vãos envidraçados [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Hlim} – Transmissão térmica limite de vãos envidraçados [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Hm} – Transmissão térmica média de vãos envidraçados [$w/m^2 \cdot k$]
 $U_{H,M}$ – Transmissão térmica da caixilharia [$w/m^2 \cdot k$]
 $U_{H,V}$ – Transmissão térmica da parte semitransparente do vão envidraçado [$w/m^2 \cdot k$]
 U_M – Transmissão térmica de paredes exteriores [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{MD} – Transmissão térmica de paredes em contacto com edifícios adjacentes [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Mlim} – Transmissão térmica limite das paredes [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Mm} – Transmissão térmica média das paredes exteriores [$w/m^2 \cdot k$]
 U_S – Transmissão térmica de pavimentos [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Slim} – Transmissão térmica limite de pavimentos [$w/m^2 \cdot k$]
 U_{Sm} – Transmissão térmica média dos pavimentos [$w/m^2 \cdot k$]
 U_T – Transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno [$w/m^2 \cdot k$]

UT_m - Transmissão térmica média das paredes em contacto com o solo [$W/m^2.K$]
 V - Volume [m^3]
 V_f - Caudal devido à ventilação mecânica [m^3/h]
 V_x - Caudal devido à ventilação natural [m^3/h]
 X_j - Factor de orientação
 z - Altitude [m]
 $\alpha (F_o)$ - Ângulo de incidência da radiação solar
 $\alpha (F_h)$ - Ângulo de horizonte
 $\alpha (F_H)$ - Coeficiente de absorvência da caixilharia
 $\alpha (Perdas)$ - Ângulo de azimute
 $\alpha (Q_{opaco})$ - Coeficiente de absorção, para a radiação solar, da superfície exterior da parede
 $\beta (F_f)$ - Ângulo de incidência da radiação solar
 $\beta (Perdas)$ - Ângulo de inclinação
 $\beta_{opt} (Perdas)$ - Ângulo de inclinação óptimo
 γ - Relação entre os ganhos totais brutos e as perdas térmicas totais
 ΔT - Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS
 η - Factor de utilização dos ganhos térmicos
 η_a - Eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS a partir da fonte primária de energia
 η_i - Eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento
 η_v - Eficiência nominal dos equipamentos para arrefecimento
 θ_a - Temperatura do ar do local não aquecido [$^{\circ}C$]
 θ_{ar-Sol} - Temperatura ar-Sol [$^{\circ}C$]
 θ_{atm} - Temperatura média do ar exterior na estação de aquecimento [$^{\circ}C$]
 θ_e - Temperatura do ar exterior [$^{\circ}C$]
 θ_i - Temperatura do ar no interior do edifício [$^{\circ}C$]
 θ_m - Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento [$^{\circ}C$]
 λ - Condutibilidade térmica [$W/m.^{\circ}C$]
 μ - Factor de resistência à difusão do vapor de água
 ρ - Massa volúmica [kg/m^3]
 τ - Coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos - Latitude e -
 Humidade relativa do ambiente exterior i - Humidade relativa do ambiente interior
 ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear [$W/m.^{\circ}C$]

NOTAÇÕES

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Água Quente Sanitária

CO₂ – Dióxido de carbono

COP – *Coefficient Of Performance*

CTE – *Código Técnico de la Edificación*

CE – Comissão Europeia

CADE – *Centro de Ahorro de Energía y la Diversificación*

CEV – *Calificación Energética Vivienda*

DB – *Documento Básico*

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-Lei

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*

GD – Graus-Dias

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

IDAE – *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*

INE – Instituto Nacional de Estatística

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ISO – *International Organization for Standardization*

ITE – Informação Técnica de Edifícios

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LOE – *Ley de Ordenación de la Edificación*

MV - *Ministerio de la Vivienda*

NP – Norma Portuguesa

PE – Parlamento Europeu

PEEV - *Programa de Eficiencia Energética de la Vivienda*

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RITE – *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

UE – União Europeia

URE – Utilização racional de energia

VEEI – *Valor de Eficiencia Energética de la Instalación*

XPS - Poliestireno expandido extrudido

ÍNDICE

MEMBROS DO JÚRI	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABELAS	vii
SIMBOLOGIA	ix
NOTAÇÕES	xiii
ÍNDICE	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais	1
1.2 Objectivos	1
1.3 Organização e estrutura	1
2 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS E REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL NA PENINSULA IBÉRICA	3
2.1 Enquadramento	3
2.1.1 Em Portugal	3
2.1.2 Em Espanha	5
2.2 Regulamentos existentes ao nível da térmica	7
2.2.1 Regulamentos existentes ao nível da térmica em Portugal	8
2.2.2 Regulamentos existentes ao nível da térmica em Espanha	10
2.3 Certificação Energética	12
2.3.1 Situação em Portugal	12
2.3.2 Situação em Espanha	13
2.4 Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)....	14
2.5 Código técnico de edificación (CTE)	17
3 CASO DE ESTUDO	20
3.1 Caracterização do edifício	20
3.2 Análise segundo o RCCTE	30
3.2.1 Parâmetros a determinar	30
3.2.2 Verificação dos requisitos mínimos	52
3.2.3 Cálculo das necessidades de aquecimento (N _{ic})	53
3.2.3.1 Perdas associadas à envolvente exterior, envolvente interior e vãos envidraçados	54
3.2.3.2 Perdas associadas à renovação de ar	57
3.2.3.3 Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)	61
3.2.3.4 Valor máximo das necessidades de aquecimento (N _i)	64
3.2.3.5 Valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N _i)	65
3.2.4 Cálculo das necessidades de arrefecimento (N _{vc})	65

3.2.4.1 Perdas por ventilação	67
3.2.4.2 Perdas associadas a paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados exteriores (Verão)	67
3.2.4.3 Ganhos solares pela envolvente opaca.....	67
3.2.4.4 Ganhos solares pelos envidraçados exteriores.....	69
3.2.4.5 Ganhos internos e ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão)	69
3.2.4.6 Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)	70
3.2.4.7 Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nv)	70
3.2.5 Cálculo das necessidades de energia para produção de AQS (Nac).....	71
3.2.6 Valores limites das necessidades de energia para produção das AQS (Na)	72
3.2.7 Necessidades de energia primária (Ntc)	73
3.2.8 Valor máximo admissível de necessidades nominais globais de energia primária (Nt)	74
3.2.9 Classe energética	75
3.3 Análise segundo o CTE	76
3.3.1 Limitações de necessidades energéticas (DB HE1)	76
3.3.2 Zonas climáticas	77
3.3.3 Requisitos e valores limite	78
3.3.4 Opção simplificada	81
3.3.4.1 Campo de aplicação	81
3.3.4.2 Envolvente	82
3.3.4.3 Cálculo e processo de verificação	83
3.3.5 Opção geral	85
3.3.5.1 Campo de aplicação	85
3.3.5.2 Cálculo e processo de verificação	85
3.3.5.3 Resumo do manual LIDER	86
3.3.6 Classe energética	93
4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DOS DOIS REGULAMENTOS (RCCTE E CTE).....	96
4.1 Coeficientes de transmissão térmica	96
4.2 Necessidades de energia de aquecimento	96
4.3 Necessidades de energia de arrefecimento	97
4.4 Classificação energética	98
5 CONCLUSÕES	100
5.1 Conclusões.....	100
5.2 Desenvolvimentos futuros	101
6 BIBLIOGRAFIA	102
7 ANEXOS	104
7.1 Zona climática – Tabela D.1 do DB-HE1	104
7.2 Folha de cálculo FCIV. 1ª - RCCTE	105
7.3 Folha de cálculo FCIV. 1b - RCCTE	106
7.4 Folha de cálculo FCIV. 1c - RCCTE	107

7.5 Folha de cálculo FCIV. 1d - RCCTE	108
7.6 Folha de Cálculo FCIV. 1e - RCCTE	110
7.7 Folha de cálculo FCIV. 1f - RCCTE	112
7.8 Folha de cálculo FCIV. 2 - RCCTE	113
7.9 Folha de cálculo FCV. 1a - RCCTE	114
7.10 Folha de cálculo FCV. 1b - RCCTE	115
7.11 Folha de cálculo FCV. 1c - RCCTE	116
7.12 Folha de cálculo FCV. 1d - RCCTE	118
7.13 Folha de cálculo FCV. 1e - RCCTE	120
7.14 Folha de cálculo FCV. 1f - RCCTE	121
7.15 Folha de cálculo FCV. 1g - RCCTE	122
7.16 Folha de cálculo AQS - RCCTE.....	123
7.17 Folha de cálculo energia primária - RCCTE	123
7.18 Mapa valores nominais - RCCTE.....	124
7.19 Levantamento dimensional - RCCTE.....	125
7.20 Demonstração de satisfação dos requisitos mínimos - RCCTE.....	127

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

Na actualidade, a qualidade dos edifícios não está apenas relacionada com a sua qualidade estrutural e características arquitectónicas, mas cada vez mais a componente de conforto em edifícios, é uma exigência imposta pelos utilizadores e organismos competentes, nomeadamente através de legislação.

Com o propósito de obter um ambiente interior dos edifícios termicamente confortável para os seus ocupantes, os regulamentos sobre conforto térmico são uma ferramenta essencial, sendo que inicialmente estes regulamentos tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem ter em conta os consumos energéticos necessários para atingir o conforto, mas devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e à necessidade do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de o atingir com o menor consumo energético possível.

Com a tecnologia actual pode-se reduzir o consumo de energia através de dois tipos de soluções, a eficiência energética passiva e a eficiência energética activa. A eficiência energética passiva é a acção no que diz respeito à envolvente do edifício, enquanto a activa passa pela acção no modo como os equipamentos e o edifício utilizam a energia.

1.2 Objectivos

Esta dissertação visa avaliar e comparar o comportamento térmico de um edifício em Portugal e Espanha, sendo as soluções construtivas as mesmas e estando localizados em áreas contíguas, de modo a tentar perceber as principais diferenças dos regulamentos dos dois países.

Efectuou-se o estudo segundo os regulamentos dos dois países, Portugal e Espanha (RCCTE e CTE, respectivamente), seguindo-se a comparação das necessidades energéticas e da classificação energética obtida através dos dois regulamentos. Pretende-se assim perceber as diferenças da aplicação dos dois regulamentos ao mesmo edifício para situações climatéricas idênticas nos dois países, apenas difere o país e o regulamento.

1.3 Organização e estrutura

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. No capítulo 1 encontra-se uma pequena introdução ao tema com as condições gerais, os objectivos da dissertação e a sua organização e estrutura.

No capítulo 2 é realizada uma pequena abordagem à eficiência energética em edifícios e regulamentação aplicável na península ibérica, onde se faz um enquadramento ao tema e são abordados os regulamentos existentes ao nível da térmica na península ibérica. São também abordados os regulamentos RCCTE e CTE.

O capítulo 3 é dedicado ao estudo do RCCTE e do CTE aplicado ao edifício de estudo escolhido, começando por fazer uma breve caracterização do edifício e das soluções construtivas utilizadas. No estudo do RCCTE apresenta-se a verificação dos requisitos mínimos, calculando-se os parâmetros utilizados para o cálculo das necessidades de aquecimento, das necessidades de arrefecimento, das necessidades de energia para produção de águas quentes sanitárias e necessidades de energia primária, e verificação dos valores limites. No estudo do CTE procede-se à verificação da limitação das necessidades energéticas, pequena abordagem das zonas climáticas, requisitos e valores limite e uma breve descrição da opção simplificada ou opção geral de cálculo.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos e comparados através do estudo dos dois regulamentos (RCCTE e CTE), analisando-se o comportamento térmico dos edifícios em função das soluções construtivas adoptadas.

Para finalizar no capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões obtidas através da realização desta dissertação e são também apresentados alguns dos possíveis desenvolvimentos futuros.

2 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS E REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL NA PENINSULA IBÉRICA

2.1 Enquadramento

Todas as etapas da construção civil (extração de inertes e matérias-primas, projecto, planeamento, construção e utilização de edifícios e infra-estruturas) têm de ser repensadas na óptica da minimização dos impactes, da economia de recursos e da eficiência energética.

Actualmente, a necessidade de reduzir os consumos energéticos é uma preocupação mundial. Esta preocupação prende-se não só com o facto da produção de energia com base em combustíveis fósseis começar a escassear, como também pela emissão de gases com efeito de estufa e seu consequente impacto no aquecimento global. Como tal, devem ser implementadas medidas de racionalização de energia nos vários sectores. O sector dos edifícios é um forte consumidor energético, devido principalmente às exigências, cada vez maiores, de conforto térmico por parte dos seus utentes

A Eficiência Energética nos Edifícios, esta relacionada directamente com a Utilização Racional da Energia (URE). No entanto, devido à sua especificidade e abrangência, deverá ser alvo de uma atenção especial. Neste domínio é possível distinguir dois sectores que normalmente se analisam: o sector doméstico e o sector de serviços.

Com esta dissertação pretende-se estudar os Regulamentos no domínio da Certificação Energética de edifícios, no caso português (RCCTE) e no caso espanhol (CTE) e comparar os dois regulamentos usando para isso um caso de estudo, tentando-se assim perceber as principais diferenças entre os dois regulamentos.

2.1.1 Em Portugal

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal, cerca de 17,7% na área residencial e 12% em serviços, como se pode verificar na figura 2.1. Porém, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ - quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto. (Fonte: DGEG) [9]

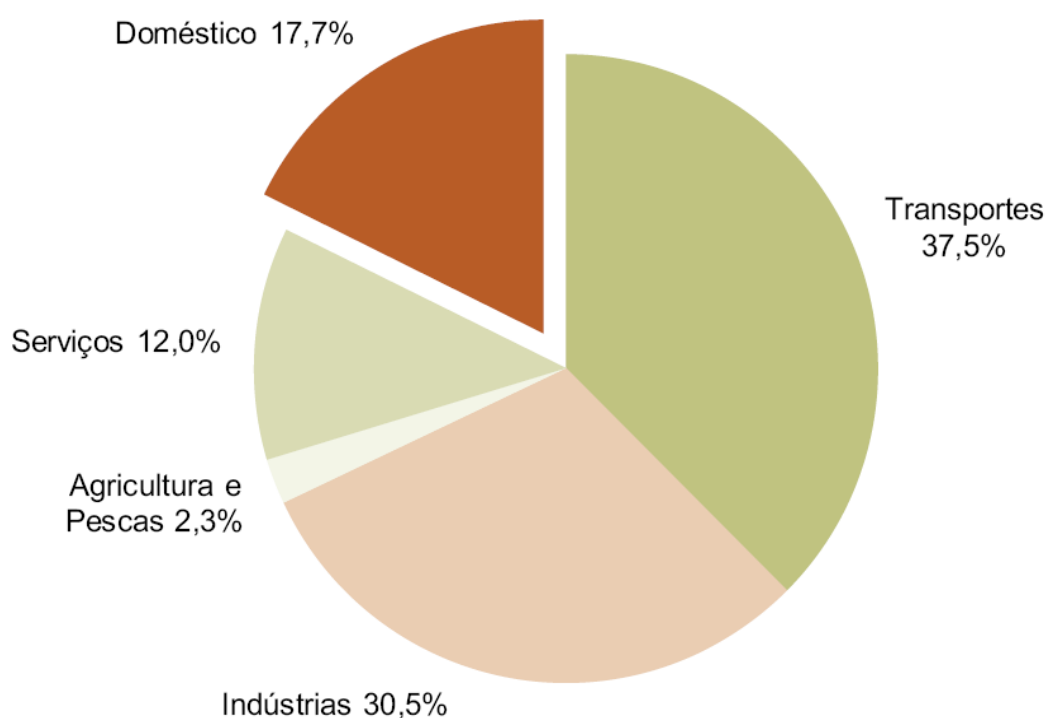


Figura 2.1 – Distribuição de consumo de energia final por sector – Portugal, 2009 [9]

No sector residencial doméstico, os 17,7% em energia final, representam no entanto 38% dos consumos de electricidade em Portugal, evidenciando a importância desta fonte de energia no sector doméstico. (Fonte: DGEG) [9]

A análise global dos consumos energéticos do sector doméstico em termos de energia final revela, ainda, a seguinte distribuição: 62,6% na confecção de alimentos e nos aquecimentos das águas sanitárias (AQS); 15,4% em iluminação e electrodomésticos; 22% em aquecimento e arrefecimento, como se pode verificar na figura 2.2.

Estes valores evidenciam o peso significativo dos consumos no aquecimento das AQS, assim como os consumos com base em energia eléctrica, traduzindo a necessidade de actuar nestas duas vertentes com medidas de URE. O vector da climatização representa apenas 22%, mas com uma taxa de crescimento elevada, devido a maiores exigências de conforto térmico. (Fonte: DGEG) [9]

Na última década o sector dos edifícios de serviços foi um dos que mais cresceu em consumos energéticos. Com 12% em energia final, este sector é um dos principais responsáveis pelo acentuado crescimento do consumo em energia eléctrica, que entre os anos 1999 e 2009 aumentou de 55% para 68%. (Fonte: DGEG) [9]

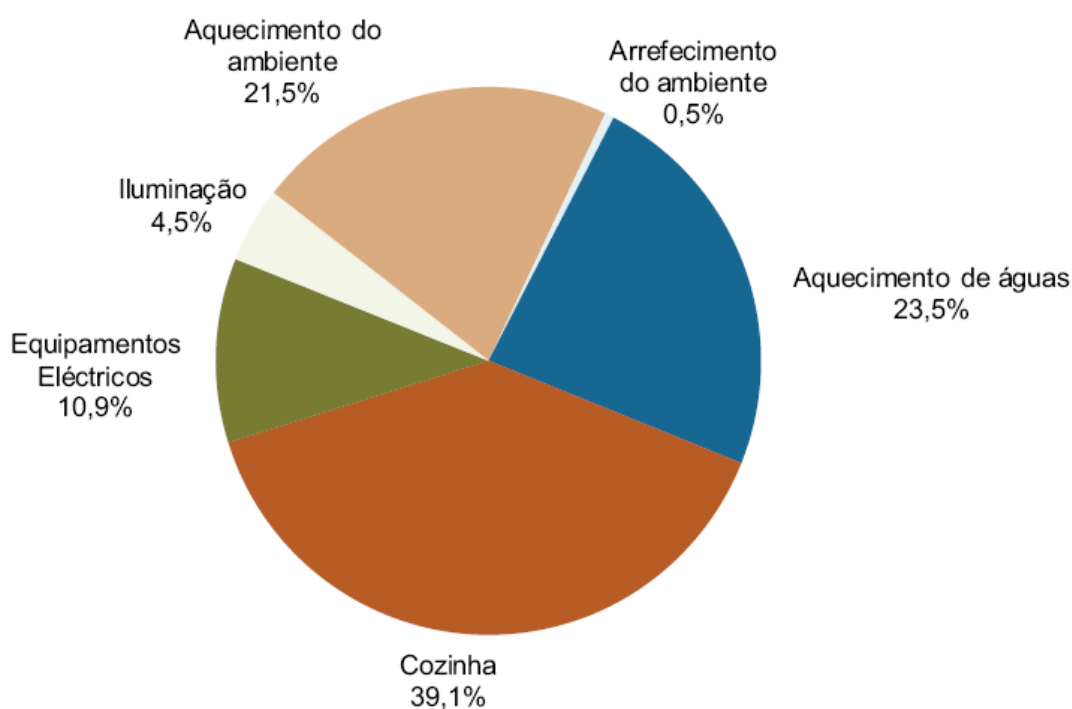


Figura 2.2 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização
– Portugal, 2010 [9]

Existe uma grande heterogeneidade no sector dos serviços, que engloba desde uma pequena loja até um grande hotel ou grande superfície, assim como, dentro da mesma categoria se verifica existirem unidades eficientes e outras grandes consumidoras de energia.

Tendo em conta esta diferenciação, é necessário separar o sector em tipos de edifícios, dos quais os mais significativos (em termos de consumos específicos) são, os restaurantes, hotéis, hipermercados, supermercados, piscinas, hospitais e escritórios.

2.1.2 Em Espanha

No caso espanhol o consumo de energia final no sector residencial doméstico é de 16,7% e no sector serviços é de 9,3%, como se pode verificar na figura 2.3. O sector residencial é um sector fundamental no contexto actual de energia, tanto em Espanha como na União Europeia. Os 16,7% de energia final deste sector representa no entanto 25% dos consumos de electricidade. Vários factores explicam a tendência de aumento do consumo de energia, como por exemplo o aumento do número de casas e o conforto exigido na construção actual. (Fonte: IDAE) [14]

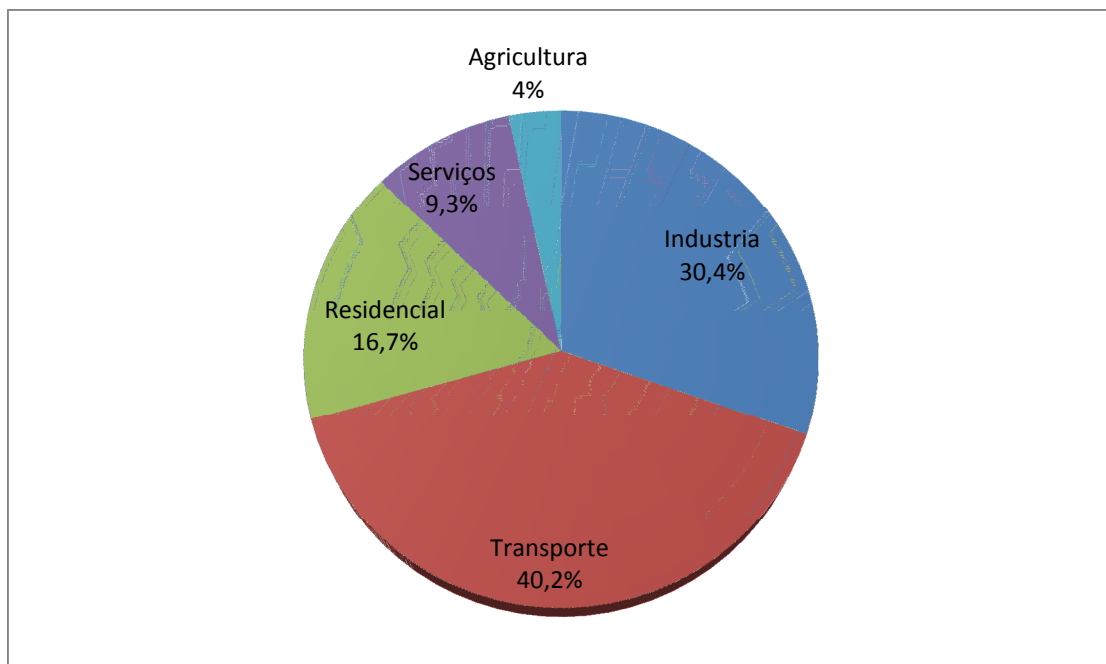


Figura 2.3 – Distribuição de consumo de energia final por sector – Espanha, 2008 [14]

A análise global dos consumos energéticos do sector doméstico em termos de energia final revela, ainda, a seguinte distribuição: 34% na confecção de alimentos e nos aquecimentos das águas sanitárias (AQS); 18% em iluminação e electrodomésticos; 48% Em aquecimento e arrefecimento, como se pode verificar na figura 2.4. (Fonte: IDAE) [14]

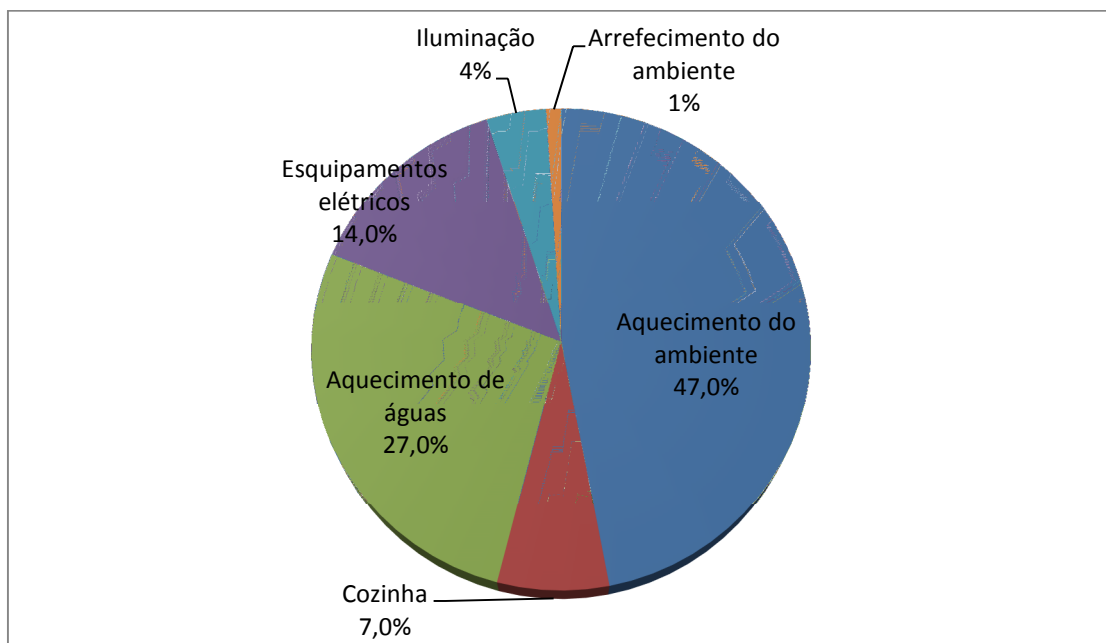


Figura 2.4 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização – Espanha, 2007 [14]

No sector dos serviços em Espanha o consumo de energia (dados de 2008) registou um decréscimo de 6,4%, o que representa cerca de 9,3% do consumo de energia final. O consumo de electricidade manteve-se estável, que corresponde a 67,6% do consumo total neste sector.

A análise global dos consumos energéticos do sector serviços em termos de energia final revela, ainda, a seguinte distribuição: 48% em escritórios; 31% no comércio; 8% na hotelaria e restauração; 7% na saúde; 5% na educação.

Analisando a distribuição de consumo de energia final em Portugal e Espanha, verifica-se que o sector dos edifícios em Portugal e Espanha é muito próximo (cerca de 3,7% de diferença), mas no que diz respeito a consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização, em Espanha, o aquecimento do ambiente (47%) é em muito superior em termos percentuais que em Portugal, com mais do dobro do valor e com um peso de quase metade do consumo de energia no alojamento. No sector da cozinha o consumo de energia no alojamento é muito maior em Portugal, que em Espanha, verificando-se uma diferença muito significativa. Os restantes sectores, comparando o consumo nos dois países, encontram-se próximos.

2.2 Regulamentos existentes ao nível da térmica

Na sequência das crises petrolíferas na Europa na década 70 do século XX, a maioria dos países Europeus introduziu regulamentação no sentido da redução do consumo energético em complemento ou na sequência das medidas promulgadas pela Comissão Europeia (CE) e Parlamento Europeu (PE) nos diferentes sectores, em particular nos sectores da indústria e dos edifícios. O principal objectivo era a redução do consumo energético. Destacam-se nessa década as Resoluções do Conselho de 9 de Julho de 1980 e de 15 de Janeiro de 1985, que visam intensificar na Comunidade os esforços para economizar energia e reduzir o consumo e as importações de petróleo e recomendar aos Estados-membros linhas de orientação de um programa de base para economizar energia.

Na década seguinte as preocupações ambientais ganham forma e surge uma maior consciencialização para o efeito de estufa e consequente aquecimento global resultante, principalmente, do aumento das emissões de CO₂. Tendo em vista a redução destas emissões através do aumento da eficácia energética na edificação, é imposta a Directiva Europeia (93/76/CE) de 13 Setembro 1993, que permite a etiquetagem dos edifícios. No que respeita a uma melhoria em termos ambientais foram também impostas restrições, sendo de referir a Directiva Europeia (94/3093) de 15 Setembro 1994, relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozono. Os objectivos consistiam em tomar medidas de prevenção por forma a evitar fugas das substâncias dos equipamentos, promover recolha para reciclagem ou

destruição de forma segura das referidas substâncias, abolição de algumas e substituição por outras ambientalmente mais seguras.

Olhando às questões energéticas na Europa, tinha-se tradicionalmente como preocupações comuns o cumprimento das metas de Quioto e as da Segurança do Abastecimento. Em 2001, a Comissão Europeia avançou com a proposta de uma Directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), aprovada rapidamente (Directiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002).

Posteriormente União Europeia, publicou em 4 de Janeiro de 2003 a Directiva n.º 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que, entre outros requisitos, impõe aos Estados-membros o estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados, obrigando-os a exigir, nestes casos, com poucas excepções, a implementação de todas as medidas pertinentes com viabilidade técnica e económica. A Directiva adopta também a obrigatoriedade da contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias, numa óptica de consideração de todos os consumos de energia importantes, sobretudo, neste caso, na habitação, com um objectivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de colectores solares ou outras alternativas renováveis.

2.2.1 Regulamentos existentes ao nível da térmica em Portugal

O início dos requisitos térmicos para edifícios em Portugal foi com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) de 1990, DL 40/90 de 6 de Fevereiro, onde permitiu dar um primeiro passo, pouco exigente, para introduzir os aspectos térmicos/energéticos no processo de projecto, permitiu também o conforto térmico com redução das necessidades energéticas [1].

Foi benéfico introduzir requisitos mínimos para a envolvente, coeficientes de transmissão térmica máximos para minimizar condensações interiores e sombreamentos mínimos para evitar sobreaquecimentos significativos no Verão.

O RCCTE foi o primeiro Regulamento Europeu com requisitos obrigatórios para a estação quente, todos os demais eram regulamentos de isolamento térmico (pensados somente para a estação fria).

Embora pouco exigente, o RCCTE de 1990 introduziu o recurso, hoje quase sistemático, do isolamento térmico na construção. A pouca exigência foi pensada exactamente para introduzir as preocupações térmicas nos projectos, isolamentos e sombreamentos, para depois rever os requisitos para maiores níveis da exigência no prazo de 5 anos. A inércia

legislativa e os baixos preços do petróleo e da energia na década de 1990 não criaram as condições adequadas para que a revisão programada pudesse ter-se tornado uma realidade. Posteriormente em Portugal, no seguimento da transposição da directiva 2002/91/CE em 26 de Janeiro de 2006 foram aprovados os diplomas seguintes:

- Decreto-Lei que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios (DL 78/2006, de 4 de Abril).
- Decreto-Lei que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (DL 79/2006, de 4 de Abril)
- Decreto-Lei que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (DL 80/2006, de 4 de Abril).

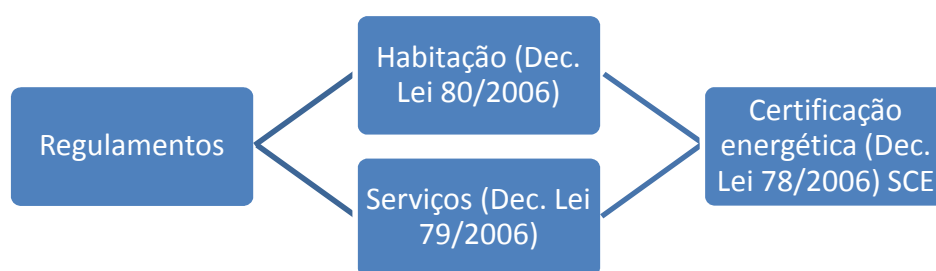


Figura 2.5 – Situação em Portugal

Tal como o anterior RCCTE (DL 40/90), o novo regulamento (DL 80/2006) estabelece os requisitos mínimos para: Edifícios de Habitação; Edifícios de Serviços com área útil inferior a 1000 m² e sem sistemas mecânicos de climatização ($P < 25$ kW); Grandes Reabilitações destas duas tipologias de edifícios – intervenções no edifício e nos seus sistemas energéticos cujo custo seja superior a 25% do valor patrimonial da construção.

O RCCTE (DL 80/2006) aplica-se então a edifícios de habitação novos, grandes reabilitações e pequenos edifícios de serviços sem sistema de climatização ($P < 25$ kW), enquanto o RSECE se aplica a grandes edifícios de serviços novos, grandes reabilitações e existentes e a edifícios de habitação ou pequenos edifícios de serviços com sistemas de climatização ($P \geq 25$ KW). Entende-se por pequenos edifícios, os edifícios não-residenciais com menos de 1000 m² de área útil de pavimento, excepto, Centros Comerciais,

Hipermercados, Supermercados e Piscinas cobertas, que só são considerados pequenos quando a área útil de pavimento for menor que 500m².

Esta divisão em dois regulamentos tem uma razão de fundo muito objectiva. Enquanto o RCCTE impõe níveis de isolamento da envolvente cada vez mais exigentes (edifícios dominados pela envolvente), em edifícios de serviços dominados pelos ganhos internos, o aumento do isolamento pode levar a um sobreaquecimento e consequente agravamento de consumos de energia, razão pela qual não se lhes deve aplicar o RCCTE, aplicando-se assim o RSECE.

Estão isentos das exigências do RCCTE edifícios industriais, armazéns e similares não climatizados, igrejas e similares, monumentos e edifícios classificados e infra-estruturas militares de acesso reservado. Nas ampliações, o RCCTE aplica-se apenas à zona nova, ficando isentas as partes existentes do edifício ampliado.

Em consonância com as prioridades da política energética portuguesa, e também da política ambiental, bem como com o espírito e com as exigências da Directiva 2002/91/CE, o novo RCCTE agrava significativamente os requisitos de qualidade térmica da envolvente. Introduce também novos requisitos, dos quais o mais mediático será a exigência de instalação de painéis solares térmicos para aquecimento de água nos edifícios novos abrangidos pelo RCCTE.

2.2.2 Regulamentos existentes ao nível da térmica em Espanha

Relativamente a Espanha, desde 1957 que a elaboração de regulamentos técnicos de edifícios - Normas MV - é da responsabilidade do Ministerio de la Vivienda, desenvolvendo regulamentos que antes eram da responsabilidade da Dirección General de Arquitectura del Ministerio de Gobernación, criada em 1937 [7].

Em 1977 o governo adoptou uma estrutura unificada para a regulamentação dos edifícios, constituída por: Normas básicas de edificação; Normas tecnológicas de edificação; Soluções homologadas de edificação.

Em 6 de maio de 2000 entrou em vigor a Lei 38/1999, de 05 de Novembro, Ordenación de la Edificación (LOE). A LOE estabelece os seguintes requisitos básicos que devem ser atendidos para garantir a segurança de pessoas, o bem-estar da sociedade e a protecção ambiental:

- Segurança
 - Estrutural (SE);
 - Em caso de incêndio (IF);
 - Utilização (SU).

- Habitabilidade
 - Saúde, higiene e meio ambiente (HS);
 - Protecção contra o ruído (HR);
 - Poupança de energia (HE).

- Funcionalidade
 - Relativas à utilização;
 - Acessibilidade e acesso a serviços de telecomunicações, audiovisuais e de informação.

A LOE autoriza o governo à aprovação do Código Técnico de la Edificación (CTE), que estabelece os requisitos a cumprir pelos edifícios em relação aos requisitos mínimos de segurança e habitabilidade. Os requisitos mínimos relativos à funcionalidade e aspectos funcionais dos elementos de construção não são regidos pelo código técnico, mas por legislação específica.

O uso do presente regulamento com base no desempenho é a configuração de uma forma mais flexível, facilmente actualizado de acordo com a evolução tecnológica e as exigências da sociedade e com base na experiência de regulamentação tradicional.

As grandes inovações do CTE em comparação com a legislação anterior foi principalmente a existência de requisitos básicos no edifício e abordagem quanto ao desempenho fazendo com que haja uma tendência global para melhorar a competitividade e eficiência no sector da construção.

O CTE está organizado em duas partes, sendo que na primeira parte estabelece as disposições gerais, condições técnicas e administrativas e os requisitos mínimos, e a segunda parte é composta pelos documentos básicos (DB), que são documentos onde consta vários métodos e soluções que estão em conformidade com os requisitos mínimos do CTE.

O CTE, na secção de consumo energético, foi aprovado pelo Decreto-Lei 314/2006 de 17 Março de 2006, e publicado no BOE 28 de Março de 2006, posteriormente entrou em vigor 29 Março 2006. Em 29 de Março de 2007 terminou o período de usar algumas das normas básicas de construção usadas então até à data de publicação do CTE.

A Certificação Energética para um edifício novo foi aprovada pelo Decreto-Lei 47/2007 de 19 de Janeiro de 2007, entrou em vigor três meses depois, a 30 de Abril de 2007, existe 6 meses de período voluntário até 30 de Outubro de 2007. A partir de 31 de Outubro de 2007 os projectos de construção e pedido de autorização de construção devem respeitar as normas estabelecidas neste Decreto-Lei (47/2007).

2.3 Certificação Energética

Os Estados-Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas, quer ao nível da regulamentação ou do incentivo, com vista a impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, em linha com a Directiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. No âmbito desta Directiva é estabelecido o enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios bem como dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação, certificação energética dos edifícios e a inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, a avaliação das instalações de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.

A directiva torna obrigatória a implementação de um sistema de certificação energética com vista a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, venda e arrendamento dos mesmos, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos (para edifícios existentes). No âmbito da directiva estão igualmente previstas inspecções periódicas aos equipamentos e à qualidade do ar interior.

2.3.1 Situação em Portugal

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e que se pretende venha a proporcionar economias significativas de energia para o país em geral e para os utilizadores dos edifícios, em particular. Juntamente com os diplomas que vieram rever a regulamentação técnica aplicável neste âmbito aos edifícios de habitação (RCCTE, D.L. 80/2006) e aos edifícios de serviços (RSECE, D.L. 79/2006), o SCE define regras e métodos para verificação da aplicação efectiva destes regulamentos às novas edificações, bem como, numa fase posterior, aos imóveis já construídos.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) veio estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo

à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária. A nova legislação determina também a obrigatoriedade da instalação de colectores solares e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício.

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio igualmente definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos da qualidade da envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando igualmente à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes.

A aplicação destes regulamentos é verificada em várias etapas ao longo do tempo de vida de um edifício, sendo essa verificação realizada por peritos devidamente qualificados para o efeito. São esses os agentes que, na prática e juntamente com a ADENE, irão assegurar a operacionalidade do SCE. A face mais visível deste trabalho será o Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior emitido por um perito para cada edifício, onde o mesmo será classificado em função do seu desempenho numa escala predefinida de 9 classes (A+ a G). A emissão do certificado pelo perito será realizada através de um sistema informático de suporte criado para o efeito, onde se constituirá um registo central de edifícios certificados.

2.3.2 Situação em Espanha

Em Espanha, a certificação energética de edifícios começa em 1993 no País Basco usando uma metodologia de certificação chamado P.E.E.V. (Programa de Eficiência Energética da Habitação).

Em 1994, Castilla y Leão fazem os primeiros certificados de energia em edifícios usando a mesma metodologia P.E.E.V através C.A.D.E. (Centro de Economia de Energia e Diversificação).

Em 1997, o Ministério do Desenvolvimento (através da Direcção-Geral da Habitação, Arquitectura e Urbanismo), e o Ministério da Indústria e Energia (através da IDAE), chegaram a um acordo para actualizar a norma NBE-CT-79 e determinar o processo de avaliação da energia.

O processo de classificação de energia foi desenvolvido pelo presidente da Escola Termotecnologica de Engenharia Industrial da Universidade de Sevilha e entregue em 2001 para ser estudado pelo Technical Advisory Committee (órgão consultivo do IDAE), e no Ministério das Obras Públicas e das Comunidades Autónomas.

Actualmente, o I.D.A.E. desenvolveu dois métodos de análise energética dos edifícios: um, o CEV (Classificação energética de Habitação), mais simplificado, para edifícios de habitação, e outra, mais complexa, o LEADER CALENER (Limitação do Consumo de Energia - Energy Rating) para a certificação de todos os tipos de edifícios, residenciais e não residenciais.

Para cumprir com a directiva europeia, o Real Decreto 47/2007, de 19 de Janeiro de 2007 impõe a obrigação de entrega aos compradores de casas ou aluguer, de um certificado de eficiência energética através do qual possa compreender as características do edifício. Isso garante o conhecimento exacto do consumo energético, ajudando a criar consciência social sobre a eficiência energética e a poupança de energia, os usuários podem avaliar e comparar os edifícios antes da venda ou aluguer. Além disso, esta medida favorece uma maior transparência no mercado imobiliário e incentiva o investimento em poupança de energia.

O certificado é emitido, em fase de projecto, e posteriormente quando construído. É acompanhado por um Selo de Eficiência Energética, que será incluído em toda a publicidade utilizada na venda ou arrendamento do edifício.

Dependendo das emissões de CO₂ provocadas pelo consumo de energia de aquecimento, refrigeração, água quente para uso doméstico e iluminação do edifício, haverá uma escala de sete pontos e sete cores, correspondente cada classe, podendo colocar o edifício entre os mais eficientes (classe A) e os menos eficientes (classe G). A classificação entre a classe A e a classe E é para os edifícios novos, e as classes F e G para edifícios antigos, sendo estas classes proibidas para edifícios novos.

O certificado de desempenho energético é válido por um período máximo de dez anos, após esse período será da responsabilidade da região autónoma estabelecer condições específicas para prosseguir com a renovação ou actualização do mesmo.

2.4 Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)

O Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos para climatização (aquecimento e arrefecimento) e produção de águas quentes sanitárias, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacte em termos de energia primária. Esta legislação impõe a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável.

No que diz respeito às necessidades nominais de aquecimento, é calculada a soma de perdas por condução através da envolvente e perdas por renovação de ar, retirando os ganhos de calor úteis (solares e ganhos internos). As perdas por condução através da envolvente resulta da soma de perdas pela envolvente exterior, perdas por elementos em contacto com locais não aquecidos, perdas pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo e perdas pelas pontes térmicas lineares.

Para o cálculo das necessidades nominais de arrefecimento, consideram-se os ganhos totais úteis, que resultam do somatório dos ganhos internos, das perdas por ventilação, dos ganhos pelos vãos envidraçados e dos ganhos pela envolvente opaca (perdas por condução e ganhos por radiação), ao qual é aplicado posteriormente um factor de utilização de ganhos. No caso das águas quentes sanitárias (AQS), é tida em conta a energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS e a eficiência do sistema de AQS.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) está dividido em cinco capítulos: I) Objecto e âmbito de aplicação; II) Definições e parâmetros de caracterização; III) Requisitos energéticos; IV) Licenciamento; V) Definições finais e transitórias.

O RCCTE apresenta adicionalmente 9 anexos, onde são descritos metodologias de cálculo e um conjunto de conceitos e bases de dados de apoio. Os referidos anexos são os seguintes: I) Espaços com requisitos de conforto térmico; II) Definições; III) Zonamento climático; IV) Método de cálculo das necessidades de aquecimento (Nic); V) Método de cálculo das necessidades de arrefecimento (Nvc); VI) Método de cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária (Nac); VII) Quantificação dos parâmetros térmicos; VIII) Fichas para licenciamento ou autorização; IX) Requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios.

Para conseguir a certificação, deverão ser cumpridos cumulativamente os seguintes requisitos:

1. Requisitos mínimos de qualidade térmica, tal como constantes no anexo IX do RCCTE.

Estes requisitos visam controlar os valores máximos admissíveis para os coeficientes de transmissão térmica da envolvente e para as pontes térmicas planas, bem como o factor solar máximo admissível para os vãos envidraçados.

2. Necessidades nominais de energia e valores limite para as necessidades de energia:
 - 2.1 Energia de aquecimento:

$$Nic = \frac{(Qt + Qv - Qgu)}{Ap} \quad [kwh/m^2.ano]$$

$$Nic \leq Ni$$

em que:

Qt – Perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios [kWh]

Qv – Perdas de calor resultantes da renovação de ar [kWh];

Qgu – Ganhos de calor úteis [kWh];

Ap – área útil de pavimento [m²].

2.2 Energia de arrefecimento:

$$Nvc = \frac{Qg \times (1 - \eta)}{Ap} \quad [kwh/m^2.ano]$$

$$Nvc \leq Nv$$

em que:

Qg – ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma [kWh];

η – factor de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento;

Ap – área útil de pavimento [m²].

2.3 Energia para preparação de AQS:

$$Nac = \frac{\frac{Qa}{\eta_a} - Esolar - Eren}{Ap} \quad [kwh/m^2.ano]$$

$$Nac \leq Na$$

em que:

Qa – energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS [kWh/ano];

η_a – eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS a partir da fonte primária de energia;

E_{solar} – contribuição de sistemas colectores solares para o aquecimento de AQS;

E_{ren} – contribuição de quaisquer outras formas de energia renováveis (solar fotovoltaica, biomassa, eólica, geotérmica, etc.) para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais;

Ap – área útil de pavimento [m²].

2.4 Energia primária:

$$Ntc = 0,1 \times \left(\frac{Nic}{\eta_i} \right) \times Fpui + 0,1 \times \left(\frac{Nvc}{\eta_v} \right) \times Fpuv + Nac \times Fpua \quad [kgep/m^2.ano]$$

$$N_{tc} \leq N_t$$

em que:

F_{pu} – factor de conversão de energia útil para energia primária [kgep/kWh];

η_i – eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento;

η_v – eficiência nominal dos equipamentos para arrefecimento.

2.5 Código técnico de edificación (CTE)

O Código Técnico de Edificación (CTE) é o regulamento espanhol que estabelece os requisitos a que devem obedecer os edifícios em relação aos requisitos mínimos de segurança e habitabilidade.

Este regulamento (CTE) tem como objectivo responder às necessidades da sociedade em termos de melhoria da qualidade do edifício, melhorar a protecção do usuário e promover o desenvolvimento sustentável. O CTE aplica-se a edifícios novos, obras de ampliação, alteração, renovação ou reabilitação e alguns edifícios protegidos do ponto de vista ambiental, histórico ou artístico.

O CTE está organizado em duas partes, sendo que na primeira parte estabelece as disposições gerais, condições técnicas e administrativas e os requisitos mínimos, e a segunda parte é composta pelos documentos básicos denominados DB, que são documentos onde constam vários métodos, soluções e verificações que estão em conformidade com os requisitos mínimos do CTE.

Os Documento Básico (DB) estabelecem regras e procedimentos capazes de atender os requisitos mínimos de economia de energia. As secções deste DB correspondem a cinco requisitos mínimos HE 1 a HE 5. Para atender a exigência mínima de poupança de energia, deve-se cumprir cada um dos cinco requisitos.

Requisitos mínimos HE 1: Limitação das necessidades de energia

A necessidade energética é a energia necessária para manter o interior do edifício com condições de conforto com base no seu uso e zona climática onde se encontra, tanto para a estação de aquecimento como para a estação de arrefecimento.

A verificação das necessidades energéticas pode ser feita por comparação com um edifício de referência ou através da limitação das características das paredes e divisórias que compõem a envolvente do edifício. A limitação das necessidades energéticas é feita baseado no clima da localidade onde se encontra o edifício, sendo que o país está dividido em 12 zonas climáticas de inverno e verão. Também se distingue espaços habitados de espaços não habitados, porque é essencial para o cálculo nos espaços habitados a quantidade de calor dissipada para o exterior.

Esta Seção (HE1) é aplicável na construção de um edifício novo, em modificações, alterações ou renovações de edifícios existentes com uma área superior a 1000 m², quando é renovado mais de 25% do seu espaço.

Excluídos do âmbito de aplicação estão os edifícios que pela sua natureza devem permanecer abertos para a sua utilização, os edifícios e monumentos oficialmente protegidos como parte de determinado ambiente ou devido ao seu valor arquitectónico ou histórico especial onde o cumprimento desses requisitos pode alterar o seu carácter ou aspecto. Também excluídos são os edifícios utilizados como locais de culto ou para actividades religiosas, os edifícios temporários, com um período previsto de utilização não superior a dois anos, instalações industriais, oficinas, edifícios não residenciais agrícolas e edifícios separados com um espaço útil de menos de 50 m².

Existem duas maneiras para verificar os requisitos mínimos de necessidades de energia: através da opção simplificada ou então através da opção geral. A opção simplificada é uma opção prescritiva, ou seja, vamos cumprir valores de referência do isolamento dos edifícios, dependendo da localização e orientação do edifício. Esse cálculo é efectuado através de métodos de cálculo disponíveis em anexo da secção HE 1 do CTE. A opção geral baseia-se na utilização de um programa padrão (LIDER), que se pode encontrar na página do código técnico (www.codigotecnico.org). Aí é introduzida a geometria e características do edifício e se procede a uma simulação onde se verifica se a necessidade de energia está dentro dos valores permitidos.

Em ambas as opções limita-se a presença de condensações na superfície e no interior dos vãos envidraçados e limita-se perdas de energia devido à infiltração de ar nas condições normais de utilização dos edifícios.

Requisitos mínimos HE 2: Eficiência de instalações térmicas

Esta secção (HE 2) do regulamento (CTE) é baseada no RITE (Regulamento de Instalações Térmicas em Edifícios), onde estabelece requisitos mínimos de eficiência energética e segurança que devem ser atendidos pelas instalações térmicas dos edifícios de serviços. Também é feito um controlo de qualidade do ambiente térmico, ar interior e do ambiente acústico e aborda também a eficiência das águas quentes sanitárias.

Requisitos mínimos HE 3: Eficiência energética de instalações de iluminação

A secção HE 3 abrange os sistemas de iluminação (sistemas de detecção e controlo da iluminação) e a optimização da luz natural.

Requisitos mínimos HE 4: A contribuição mínima solar para água quente

Esta secção HE 4 diz respeito os requisitos mínimos de contribuição solar para o aquecimento de águas quentes sanitárias e aquecimento de piscinas. Esta pode variar, por ano, entre os 30% e 70% dependendo da zona climática.

Requisitos mínimos HE 5: Mínimo de energia fotovoltaica para contribuição eléctrica

Os requisitos mínimos da secção HE 5 são estabelecidos mediante a utilização do edifício e dos metros quadrados construídos, sendo assim instalados sistemas de captação e transformação de energia solar (sistemas fotovoltaicos) para consumo próprio ou venda à rede. É elaborado um plano de manutenção para verificar o correcto funcionamento das instalações.

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Caracterização do edifício

O edifício em estudo é uma edificação de rés-do-chão e andar, cuja utilização será habitação unifamiliar. Possui uma estrutura em betão armado, constituída por pilares e lajes aligeiradas apoiadas em vigas. Ao nível do rés-do-chão teremos garagem e lavandaria, que constituem espaços não úteis sem necessidade de aquecimento, hall de entrada, sala comum, cozinha, instalação sanitária de serviço, hall, instalação sanitária comum, dois quartos e uma suite. No piso 1 teremos um sótão habitável.

O piso de rés-do-chão têm um pé direito de 2,70m e o piso 1 têm um pé direito médio de 1,35m, tendo como pé direito máximo 3,09m.

O edifício possui uma área de implantação de 246,45 m² e é de tipologia T3. Foram consideradas 2 localizações para o nosso caso de estudo: em Portugal, Valença (zona climática I2, V2) e em Espanha, Tui, Pontevedra (zona climática C1). Em ambos os casos foram consideradas idênticas as condicionantes relativamente à morfologia da envolvente e do terreno, de modo a garantir a comparabilidade das análises a efectuar. O edifício apresenta a fachada principal orientada a Oeste, a posterior a Este e as fachadas laterais esquerda e direita a Norte e Sul respectivamente.

A envolvente é dividida em envolvente exterior e interior. Envolvente exterior é o conjunto dos elementos do edifício ou da fracção autónoma que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior [2], que no edificio é composta por parede dupla de tijolo (15cm + 11cm), com isolamento de 4cm, caixa-de-ar no seu interior e revestida na face exterior em reboco e na face interior em gesso projectado.

Envolvente interior é a fronteira que separa a fracção autónoma de ambientes normalmente não climatizados (espaços anexos «não úteis»), tais como garagens ou armazéns, bem como de outras fracções autónomas adjacentes em edifícios vizinhos [2], sendo esta composta por parede dupla de tijolo (11cm + 11cm), com isolamento de 4cm, caixa-de-ar no seu interior e revestida em ambas as faces por gesso projectado.

Existem dois tipos de cobertura no edifício: cobertura plana e cobertura inclinada. A cobertura plana é composta por um revestimento, betonilha de assentamento, isolamento (XPS), tela impermeabilizante, betonilha de regularização, laje aligeirada e reboco. No caso da cobertura inclinada é composta por telha cerâmica, isolamento (XPS), laje aligeirada e reboco.

Os pavimentos consistem numa laje sanitária e num pavimento intermédio, sendo a laje sanitária composta por revestimento, betonilha de assentamento, XPS e laje aligeirada, e o

pavimento intermédio composto por revestimento, betonilha de assentamento, XPS, laje aligeirada e reboco.

No que diz respeito a envidraçados, existem dois tipos de envidraçados o tipo 1 é um envidraçado vertical de envolvente exterior de abrir, orientado a sul, este e oeste, em caixilharia de alumínio, com ruptura térmica, classificada como classe 3 quanto á permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor (5+12+6) e vão com protecção exterior através de estores de cor clara. No tipo 2 a composição é a mesma, apenas diferindo no tipo de abertura do vão que é de correr.

Serão utilizadas as mesmas soluções construtivas quer no estudo segundo o RCCTE, quer no estudo segundo o CTE. Tal levou à consideração de que os coeficientes de transmissão térmica (U) dos elementos, os coeficientes de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos (τ), os coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) e os factores solares fossem idênticos para ambos os casos.

Nas figuras de 3.1 a 3.9 apresentam-se a caracterização da moradia, em planta, em corte e alçados respectivamente.

Nas figuras 3.10 e 3.11 estão assinaladas as pontes térmicas planas e as pontes térmicas lineares. Nas figuras 3.12 e 3.13 encontram-se referenciados os vãos envidraçados.

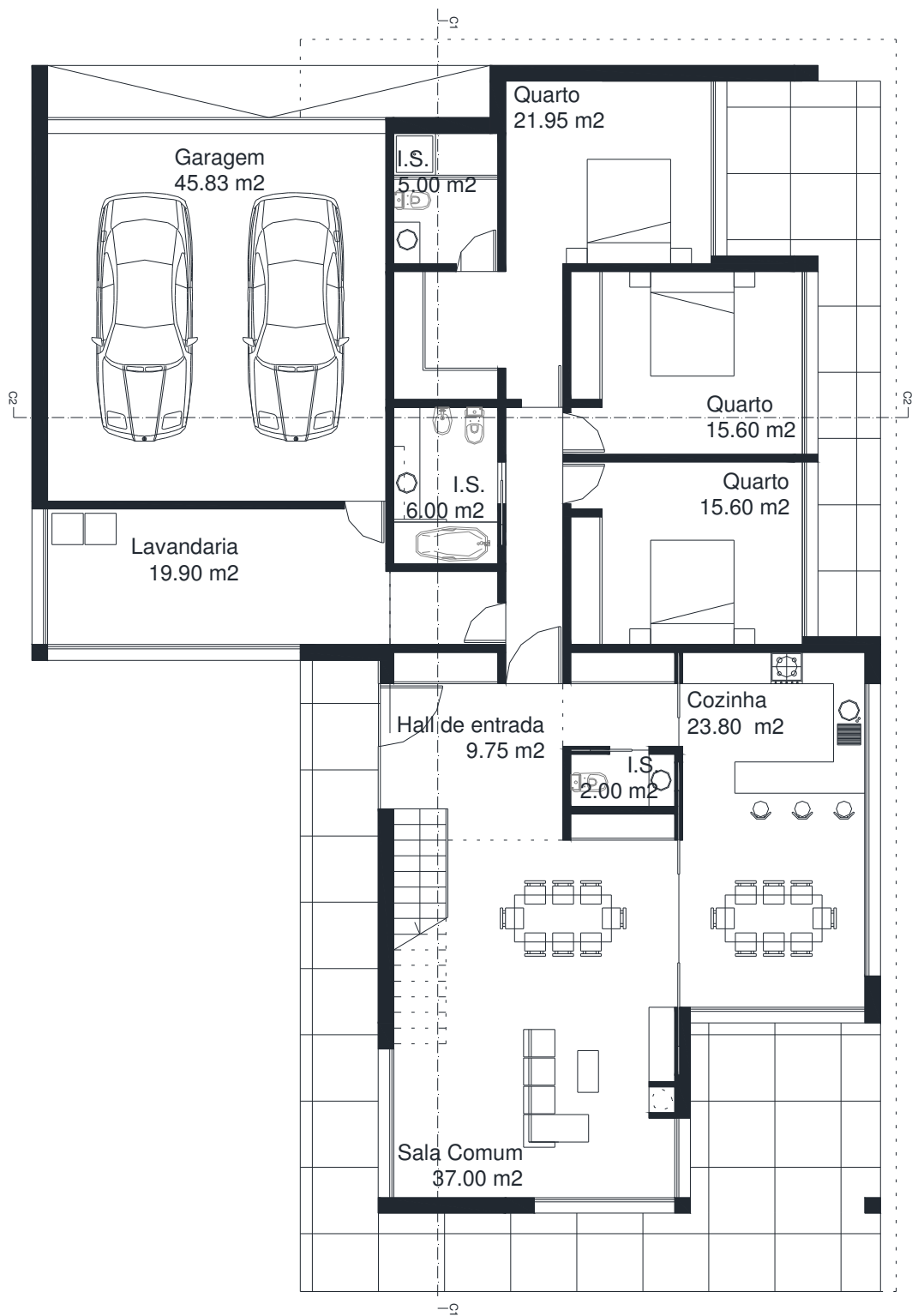


Figura 3.1 – Planta do piso Rés-do-Chão

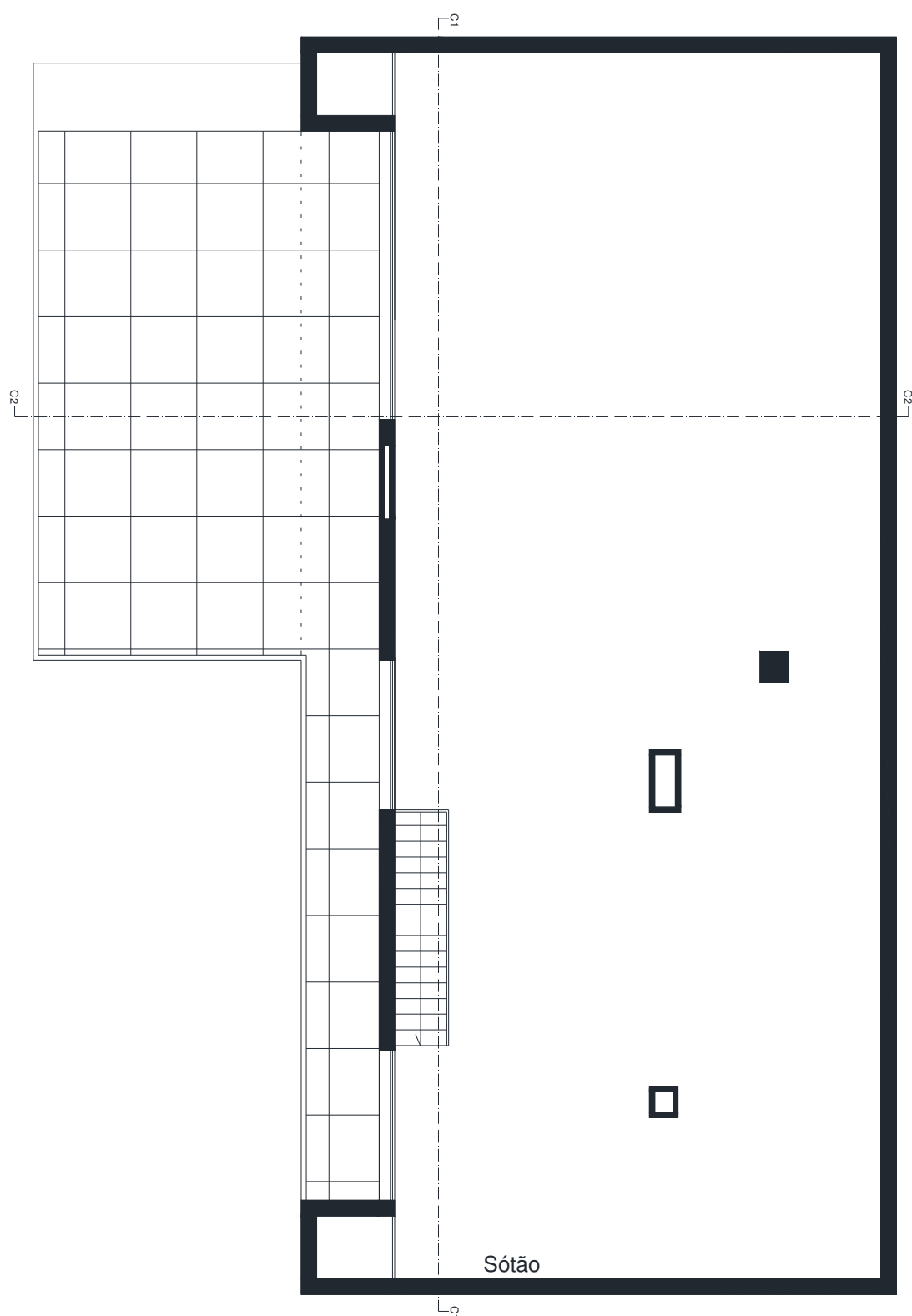


Figura 3.2 – Planta do Piso 1

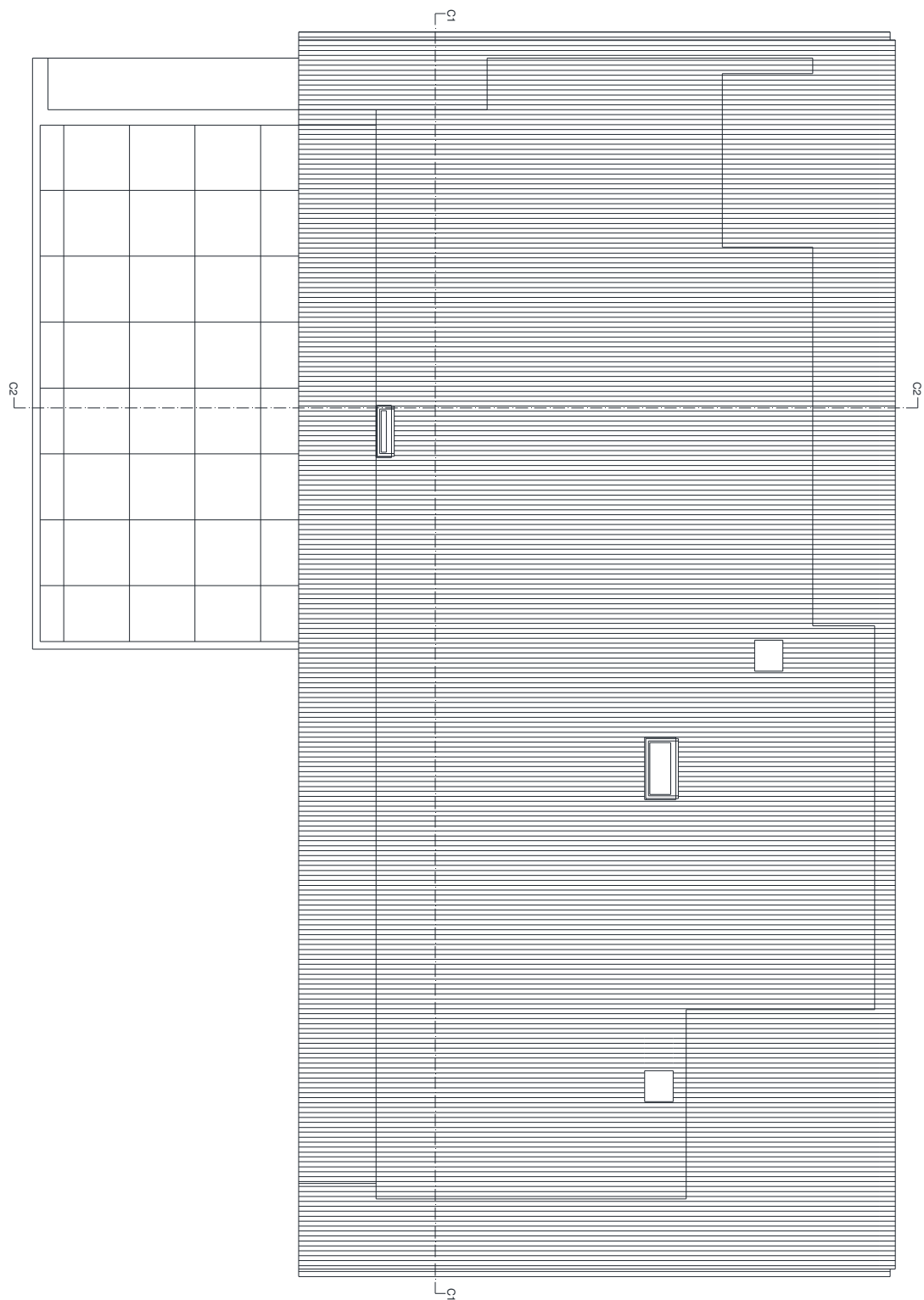


Figura 3.3 – Planta da Cobertura

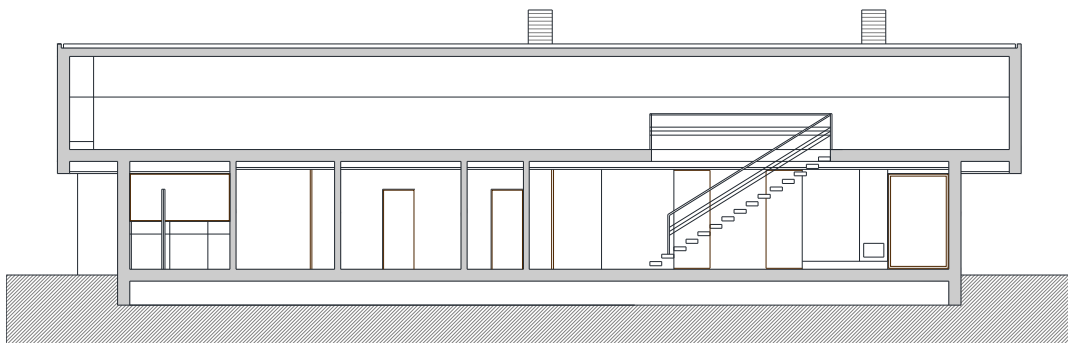


Figura 3.4 – Corte C1 da Moradia

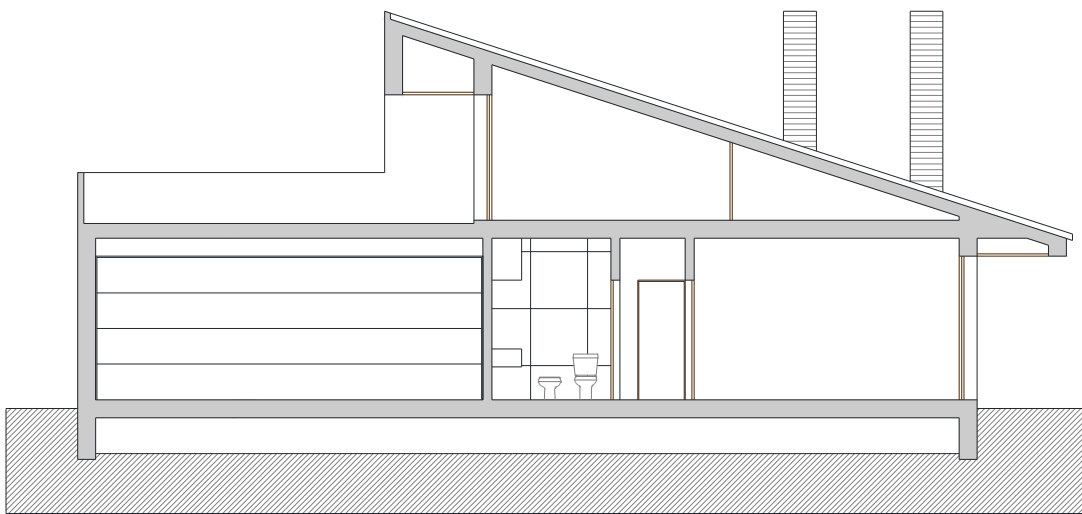


Figura 3.5 – Corte C2 da Moradia

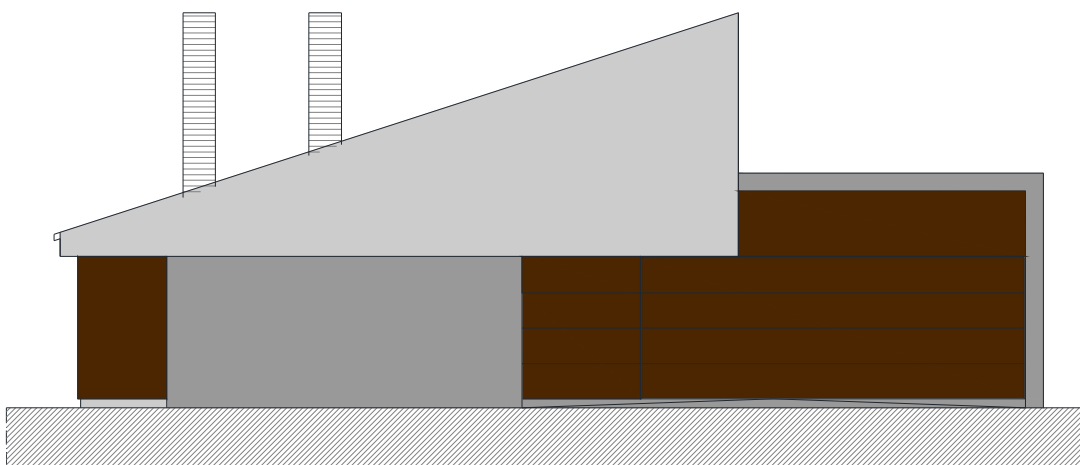


Figura 3.6 – Alçado Norte da Moradia

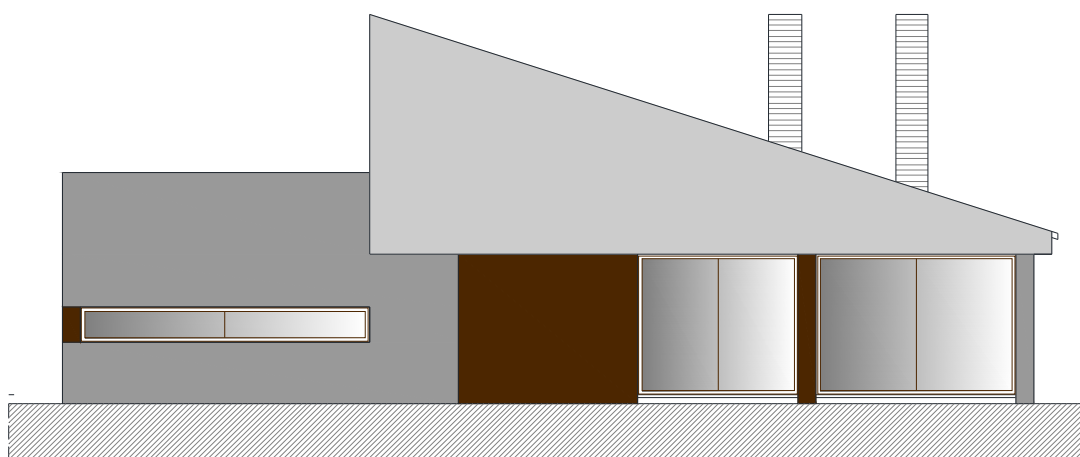


Figura 3.7 – Alçado Sul da Moradia

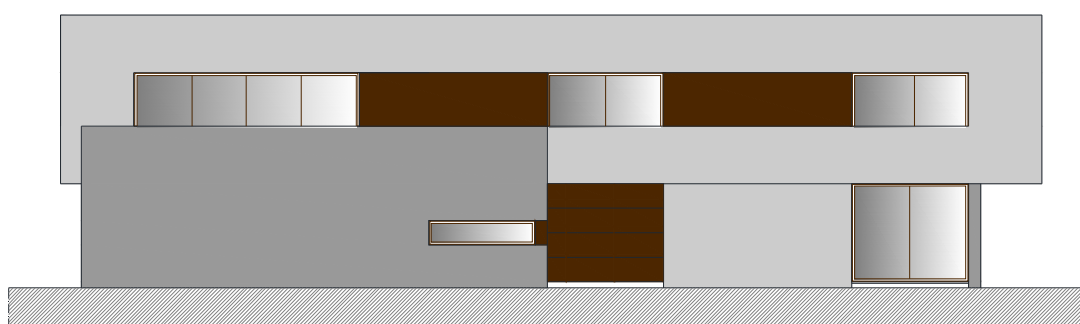


Figura 3.8 – Alçado Poente da Moradia

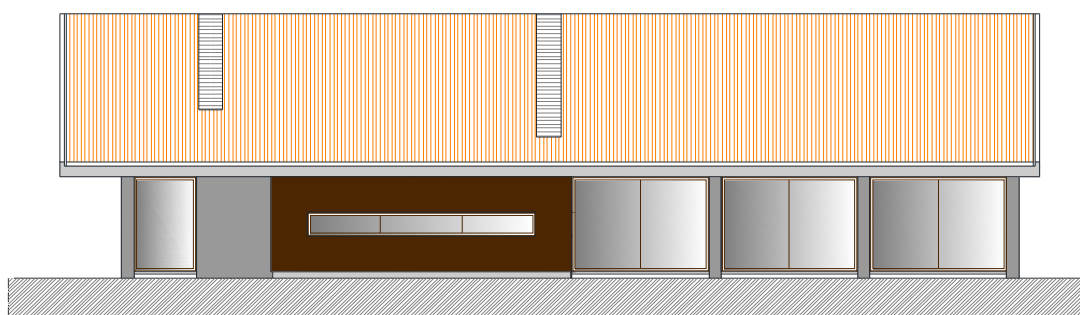


Figura 3.9 – Alçado Nascente da Moradia

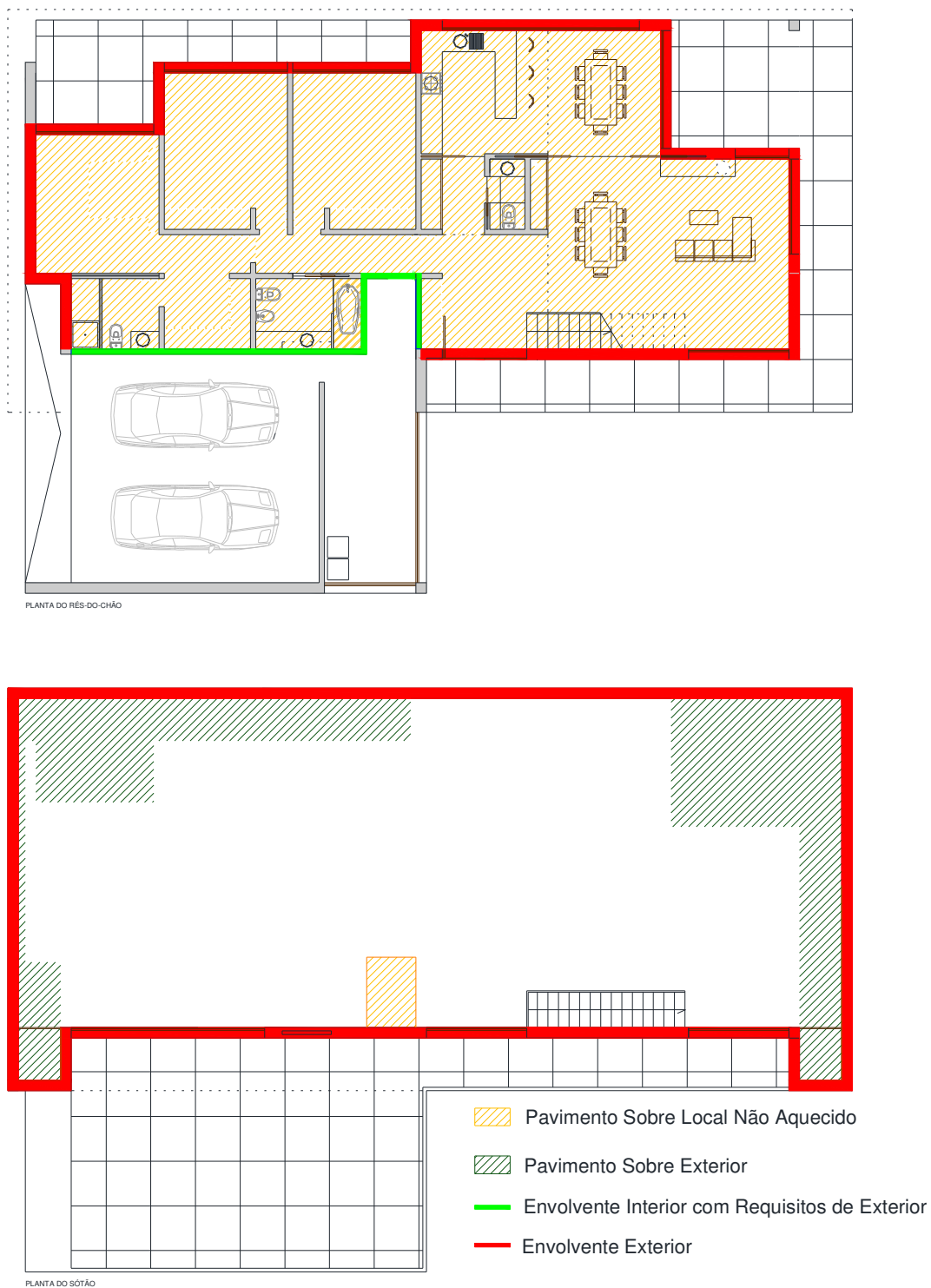


Figura 3.10 – Caracterização da moradia: delimitação da envolvente

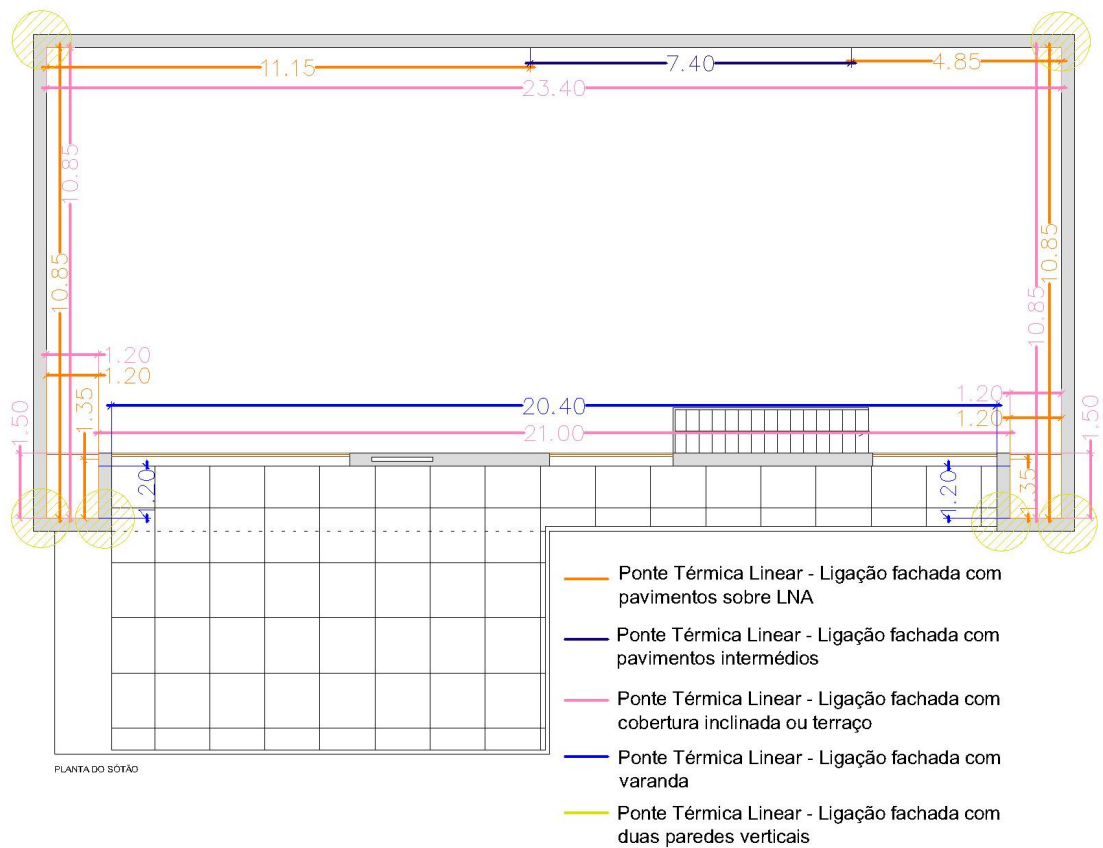
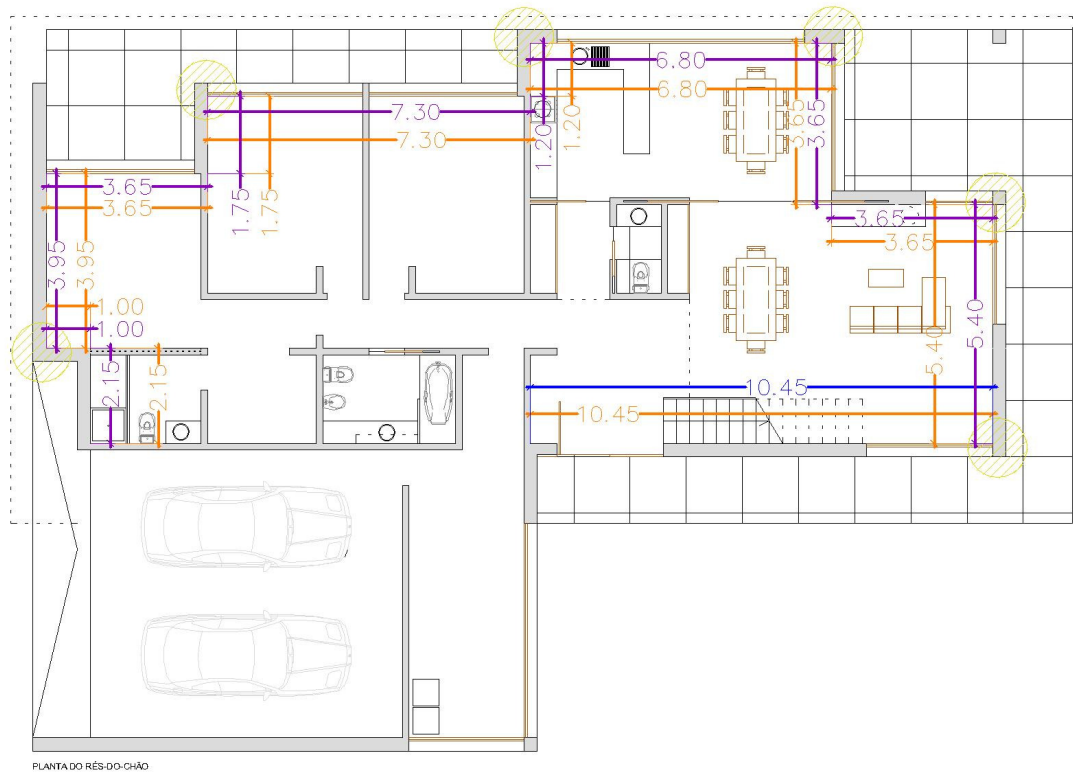


Figura 3.11 – Caracterização da moradia: pontes térmicas lineares

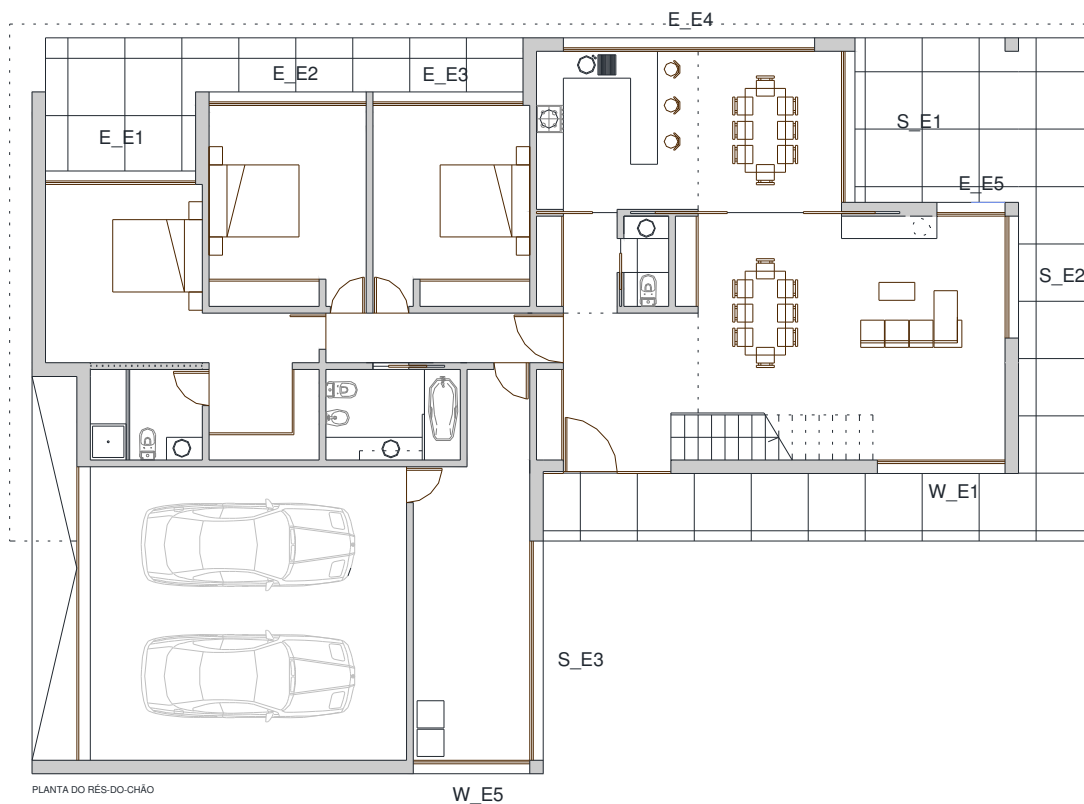


Figura 3.12 – Vãos envidraçados do piso rés-do-chão

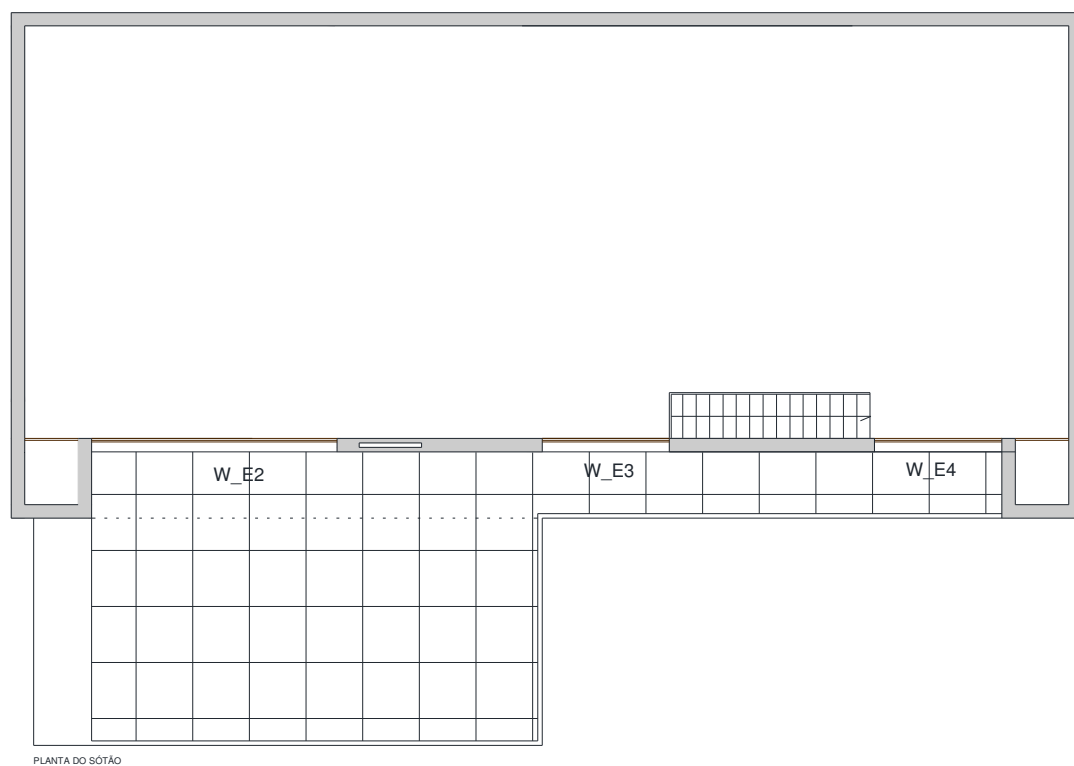


Figura 3.13 – Vãos envidraçados do piso 1º andar

No que diz respeito ao levantamento dimensional do edifício, apresentam-se nas tabelas seguintes as áreas de cada espaço e as áreas dos elementos da envolvente exterior do edifício:

Tabela 3.1 – Áreas do edifício

PISO	ESPAÇO	ÁREA (M ²)
Piso 0	Cozinha	23,80
	I.S. 1	2,00
	Sala Comum	37,00
	Hall	14,73
	I.S. 2	6,00
	I.S. 3	5,00
	Quarto 1	21,95
	Quarto 2	15,60
	Quarto 3	15,60
	Corredor	5,83
	Corredor 2	3,78
	Lavandaria	19,90
	Garagem	45,83
Piso 1	Sótão	223,23
	TOTAL	440,25 m²

Total Espaço Útil (m ²)	374,52
-------------------------------------	--------

Total Espaço Não Útil (m ²)	65,73
---	-------

Tabela 3.2 – Levantamento dimensional da envolvente exterior do edifício

Áreas dos elementos da envolvente exterior				
Orientação	Aenv (m ²)	Aptp (m ²)	Aeop (m ²)	Atotal (m ²)
Norte	0,00	4,13	36,11	40,24
Sul	14,52	1,97	25,36	41,85
Este	31,50	3,82	19,63	54,95
Oeste	36,13	11,62	40,52	88,27
Total (m²)	82,15	21,54	121,62	

3.2 Análise segundo o RCCTE

3.2.1 Parâmetros a determinar

Para a análise segundo o RCCTE foi necessário o cálculo um conjunto de parâmetros, nomeadamente coeficientes de transmissão térmica (U) dos elementos, coeficientes de

redução de perdas térmicas para locais não aquecidos (τ), coeficientes de transmissão térmica linear (ψ), factores solares e inércia térmica.

Coeficientes de Transmissão Térmica

Coeficiente de transmissão térmica (U) de um elemento da envolvente é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa [2]. Os coeficientes de transmissão térmica (U) das soluções construtivas adoptadas para o edifício em estudo foram calculados através das seguintes expressões:

$$R_j = \frac{e}{\lambda} \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad (3.1)$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (3.2)$$

em que:

R_j – Resistência térmica da camada j [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

e – Espessura do elemento [m];

λ – Condutibilidade térmica do elemento [$W/m \cdot ^\circ C$];

U – Coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

R_{si} – Resistência térmica superficial interior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$].

Os valores das condutibilidades térmicas e das resistências térmicas para cada material ou elemento, bem como das resistências térmicas superficiais interior e exterior, podem ser obtidos directamente de tabelas encontradas na publicação ITE 50 do LNEC [13].

Nas tabelas seguintes apresentam-se os coeficientes de transmissão térmica (U) das soluções construtivas adoptadas para o edifício em estudo. A envolvente exterior opaca é constituída por uma zona corrente e uma zona de ponte térmica plana, conforme descrito nas tabelas 3.3, 3.4 e 3.5.

Tabela 3.3 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores PE1

Parede Exterior - PE1				
Constituição	di (m)	λ (W/m. °C)	Rj (m ² . °C/W)	Referência
Reboco	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 15 cm	0,150		0,390	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Gesso projectado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,380		2,003	
Rse			0,04	
Rsi			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,170	
			Rtérmica total	2,17
			U (W/m². °C)	0,46

Tabela 3.4 – Coeficiente de transmissão térmica das vigas em paredes exteriores PE1

Vigas em PE1				
Constituição	di (m)	λ (W/m. °C)	Rj (m ² . °C/W)	Referência
Reboco	0,025	1,300	0,019	ITE50, LNEC
Viga	0,200	2,000	0,100	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 9 cm	0,090		0,230	ITE50, LNEC
Gesso projectado	0,025	0,300	0,083	ITE50, LNEC
TOTAL	0,380		1,51	
Rse			0,04	
Rsi			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,170	
			Rtérmica total	1,68
			U (W/m². °C)	0,60

Tabela 3.5 – Coeficiente de transmissão térmica dos pilares em paredes exteriores PE1

Pilares em PE1				
Constituição	d _i (m)	λ (W/m. °C)	R _j (m ² . °C/W)	Referência
Reboco	0,025	1,300	0,019	ITE50, LNEC
Pilar	0,200	2,000	0,100	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 9 cm	0,090		0,230	ITE50, LNEC
Gesso projectado	0,025	0,300	0,083	ITE50, LNEC
TOTAL	0,380		1,51	
R _{se}			0,04	
R _{si}			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,170	
R_{térmica total}				1,68
U (W/m². °C)				0,60

A envolvente interior opaca é constituída por uma zona corrente e uma zona de ponte térmica plana, como podemos observar no cálculo dos coeficientes de transmissão térmica nas tabelas 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9.

Tabela 3.6 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores em contacto com a lavandaria/garagem

Parede Interior em contacto com a Lavandaria/Garagem - PI1				
Constituição	d _i (m)	λ (W/m. °C)	R _j (m ² . °C/W)	Referência
Gesso projectado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Gesso projectado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,340		1,934	
R _{se}			0,13	
R _{si}			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,260	
R_{térmica total}				2,19
U (W/m². °C)				0,46

Tabela 3.7 – Coeficiente de transmissão térmica das vigas/pilares em paredes interiores PI1

Vigas e Pilares em PI1				
Constituição	di (m)	λ (W/m. °C)	Rj (m². °C/W)	Referência
Gesso projectado	0,015	0,300	0,050	ITE50, LNEC
Viga/Pilar	0,200	2,000	0,100	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 7 cm	0,070		0,190	ITE50, LNEC
Gesso projectado	0,015	0,300	0,050	ITE50, LNEC
TOTAL	0,340		1,471	
Rse			0,13	
Rsi			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,260	
			Rtérmica total	1,73
			U (W/m². °C)	0,58

Tabela 3.8 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores separação lavandaria e garagem PI2

PI2				
Constituição	di (m)	λ (W/m. °C)	Rj (m². °C/W)	Referência
Gesso projectado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 15 cm	0,150		0,390	ITE50, LNEC
Gesso projectado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,190		0,523	
Rse = Rsi			0,13	
Rsi			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,260	
			Rtérmica total	0,78
			U (W/m². °C)	1,28

Tabela 3.9 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores PI3

PI3				
Constituição	d_i (m)	λ (W/m. °C)	R_j (m². °C/W)	Referência
Gesso projectado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Gesso projectado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,150		0,403	
R _{se} = R _{si}			0,13	
R _{si}			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,260	
R_{térmica total}				0,66
U (W/m². °C)				1,51

No caso dos pavimentos optou-se por um único revestimento, revestimento cerâmico em toda a habitação, como podemos verificar nas tabelas 3.10, 3.11 e 3.12:

Tabela 3.10 – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior sobre a lavandaria

Pavimento Interior - Sobre Lavandaria				
Constituição	d_i (m)	λ (W/m. °C)	R_j (m². °C/W)	Referência
Revestimento cerâmico	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Betonilha de assentamento	0,100	1,300	0,077	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Laje aligeirada	0,240		0,240	ITE50, LNEC
Reboco	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
TOTAL	0,420		1,429	
R _{se}			0,17	
R _{si}			0,17	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,340	
R_{térmica total}				1,77
U (W/m². °C)				0,57

Tabela 3.11 – Coeficiente de transmissão térmica da laje sanitária

Pavimento Interior - Laje Sanitária				
Constituição	d_i (m)	λ (W/m. °C)	R_j (m². °C/W)	Referência
Revestimento cerâmico	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Betonilha de assentamento	0,100	1,300	0,077	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Laje aligeirada	0,240		0,240	ITE50, LNEC
TOTAL	0,400		1,413	
R _{se}			0,17	
R _{si}			0,17	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,340	
R_{térmica total}				1,75
U (W/m². °C)				0,57

Tabela 3.12 – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento exterior

Pavimento Exterior				
Constituição	d_i (m)	λ (W/m. °C)	R_j (m². °C/W)	Referência
Revestimento cerâmico	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Betonilha de assentamento	0,100	1,300	0,077	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Laje aligeirada	0,240		0,240	ITE50, LNEC
Reboco	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
TOTAL	0,420		1,429	
R _{se}			0,04	
R _{si}			0,17	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,210	
R_{térmica total}				1,64
U (W/m². °C)				0,61

Existem dois tipos de cobertura do edifício, cobertura plana sobre a lavandaria e garagem e cobertura inclinada em telha cerâmica sobre o restante edifício, como podemos ver em seguida a sua constituição (tabela 3.13 e 3.14):

Tabela 3.13 – Coeficiente de transmissão térmica da cobertura interior sobre a garagem/lavandaria

Cobertura Interior sobre Garagem/lavandaria				
Constituição	d_i (m)	λ (W/m. °C)	R_j (m². °C/W)	Referência
Revestimento	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Betonilha de assentamento	0,050	1,300	0,038	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Tela impermeabilizante	0,006	0,700	0,009	ITE50, LNEC
Betonilha de assentamento	0,050	1,300	0,038	ITE50, LNEC
Laje aligeirada	0,240		0,230	ITE50, LNEC
Reboco	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
TOTAL	0,426		1,427	
R _{se} ascendente			0,100	
R _{si} ascendente			0,100	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,200	
			R_{térmica} total	1,63
			U asc.(W/m². °C)	0,61

Tabela 3.14 – Coeficiente de transmissão térmica da cobertura inclinada

Cobertura Exterior Inclinada				
Constituição	d_i (m)	λ (W/m. °C)	R_j (m². °C/W)	Referência
Telha cerâmica	0,020	1,040	0,019	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,060	0,037	1,622	ITE50, LNEC
Laje aligeirada	0,210		0,210	ITE50, LNEC
Reboco	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
TOTAL	0,310		1,866	
R _{se} ascendente			0,040	
R _{si} ascendente			0,100	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,140	
			R_{térmica} total	2,01
			U asc.(W/m². °C)	0,50

No caso dos vãos envidraçados existem dois tipos, o tipo 1 é um vão envidraçado vertical com vidro duplo e de abrir, enquanto o tipo 2 as características são as mesmas do tipo 1 mas o tipo de abertura é diferente pois trata-se de um vão de correr (tabelas 3.15 e 3.16).

Tabela 3.15 – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado tipo 1

Vão Envidraçado Vertical - Tipo 1				
Envidraçado vertical de envolvente exterior, orientados a sul, este e oeste, com caixilharia de alumínio, com ruptura térmica, classificada como classe 3 quanto á permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor (5+12+6). Vão com protecção exterior através de estores de cor clara. Resultando assim um valor de coeficiente de transmissão térmica de 2.50 W/(m ² .°C).				
Vão envidraçado	Tipo Vidro	Tipo de janela	Dispositivo de protecção solar	Uw [w/(m ² .°C)]
Janela Simples	Vidro duplo incolor	Abrir	Réguas metálicas	2.50
gvidro =	0.78	g100% =	0.04	Referências: ITE50, LNEC, Cortizo
g(inverno)=	0.63	Fracção env. (Fg) =	0.70	
g(verão) =	0.26	Classe do caixilho:	3	

Tabela 3.16 – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado tipo 2

Vão Envidraçado Vertical - Tipo 2				
Envidraçado vertical de envolvente exterior, orientados a sul, este e oeste, com caixilharia de alumínio, com ruptura térmica, classificada como classe 3 quanto á permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor (5+12+6). Vão com protecção exterior através de estores de cor clara. Resultando assim um valor de coeficiente de transmissão térmica de 2.20 W/(m ² .°C).				
Vão envidraçado	Tipo Vidro	Tipo de janela	Dispositivo de protecção solar	Uw [w/(m ² .°C)]
Janela Simples	Vidro duplo incolor	Correr	Réguas metálicas	2.20
gvidro =	0.78	g100% =	0.04	Referências: ITE50, LNEC, Cortizo
g(inverno)=	0.63	Fracção env. (Fg) =	0.70	
g(verão) =	0.26	Classe do caixilho:	3	

Tabela 3.17 – Coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore

Caixa de Estore				
Constituição	di (m)	λ (W/m. °C)	Rj (m ² . °C/W)	Referência
Reboco 0.02 m	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Caixa de estore XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Reboco 0.02 m	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
TOTAL	0,060		1,112	
Rse			0,13	
Rsi			0,13	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,260	
			Rtérmica total	1,37
			U (W/m². °C)	0,73

Coefficiente de Redução das Perdas Térmicas para Locais Não Aquecidos

As perdas térmicas das paredes que separam o espaço útil do espaço não útil são calculadas em função do coeficiente τ (coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos).

A determinação do valor de τ é feita a partir da Tabela IV.1 do RCCTE, em função do tipo de espaço não útil e da relação entre as áreas dos elementos que separam os dois espaços e a dos elementos que separam o espaço não útil do exterior.

Sendo que A_i corresponde à área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil e A_u corresponde à área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior.

Desta forma, o valor de τ para a zona da garagem, lavandaria e laje sanitária encontram-se no quadro seguinte:

Tabela 3.18 – Coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos

Descrição	A_i (m²)	A_u (m²)	A_i/A_u	τ
Garagem	19,04	82,42	0,23	0,8
Lavandaria	21,03	40,88	0,51	0,8
Laje Sanitária	151,29	212,19	0,71	0,9

Pontes térmicas lineares e planas

A envolvente dos edifícios é composta por dois tipos de zonas: as zonas planas correntes e as zonas heterogêneas, ou seja, as zonas de ponte térmica. As pontes térmicas são todas e quaisquer zonas da envolvente de um edifício nas quais a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente da envolvente. No caso das pontes térmicas lineares, as perdas de calor podem ser quantificadas pelo respectivo coeficiente de transmissão térmica linear, ψ .

Os valores do coeficiente de transmissão térmica linear para pontes térmicas lineares correntes encontram-se na tabela IV.3 do RCCTE. A quantificação detalhada das pontes térmicas é feita na folha de cálculo FCIV.1a do RCCTE, que para o caso de estudo se encontra nos anexos. No caso de soluções não tabeladas deve-se admitir $\psi=0,5\text{W/m}^\circ\text{C}$. Não são consideradas pontes térmicas lineares em paredes interiores separando espaço útil de espaço não útil se $\tau<0,7$. Se $\tau>0,7$ o espaço é considerado exterior e a parede tratada como fachada. No caso da ligação fachada/pavimento térreo, se o pavimento térreo não tiver isolamento o valor de ψ agrava-se em 50%. Os valores de $\psi=0\text{ W/m}^\circ\text{C}$ para as soluções apresentadas para as caixas de estores na tabela IV.3 do RCCTE só podem ser considerados se o isolamento da própria caixa de estores apresentar um $R\geq 0,5\text{ m}^2\text{C/W}$. Caso contrário deve-se assumir $\psi=1\text{ W/m}^\circ\text{C}$. Nas caixas de estores devem no entanto ser sempre

consideradas pontes térmicas planas. Os valores de $\psi=0 \text{ W/m}^2\text{°C}$ para as soluções apresentadas para as caixilharias na tabela IV.3 do RCCTE só podem ser considerados se houver contacto do isolamento com a caixilharia. Caso contrário deve-se considerar $\psi=0,2 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

No que diz respeito ao edifício em estudo na tabela 3.19 estão apresentados os coeficientes de transmissão térmica linear para as diversas pontes térmicas lineares.

Tabela 3.19 – Coeficiente de transmissão térmica linear para pontes térmicas lineares

Perdas Térmicas Lineares	ψ (W/m.2°C)	Considerações	Referência
Fachada com pavimentos	0,69	$e_p = 0,24\text{m}$	Tabela Br.1 RCCTE
Fachada com pavimentos intermédios	0,24	$e_p = 0,24\text{m}$	Tabela Cr RCCTE
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	0,68	$e_p = 0,24\text{m}$	Tabela Dr RCCTE
Fachada com varanda	0,39	$e_m \geq 0,30\text{m}$ e $e_p = 0,24\text{m}$	Tabela Er RCCTE
Duas paredes verticais	0,20	$e_m \geq 0,22\text{m}$	Tabela Fr RCCTE
Fachada com caixa de estore	0,00		Tabela G RCCTE
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	0,20	Não existe contacto do isolamento com a caixilharia	Tabela H RCCTE

Relativamente às pontes térmicas planas, o RCCTE define-as como heterogeneidades inseridas em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares e talões de viga. Em rigor, zonas de pontes térmicas planas também envolvem, nas zonas de contacto com as zonas correntes, pontes térmicas lineares. Dado que neste caso o efeito da ponte térmica plana se sobrepõe em muito ao efeito da ponte térmica linear, este último é, do ponto de vista do RCCTE, desprezado ($\psi = 0$).

Para obter o fluxo de calor unitário ($\text{W/}^2\text{°C}$) que flui através da ponte térmica plana, basta fazer o produto da área respectiva pelo valor do seu coeficiente de transmissão térmica superficial. O RCCTE impõe que, os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial U das heterogeneidades opacas inseridas na zona corrente da envolvente (pilares, vigas ou caixas de estore) não excedam os valores de U máximos admissíveis para os elementos opacos nem o dobro do coeficiente de transmissão térmica dos elementos verticais ou horizontais em zona corrente.

Inércia Térmica

A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior, ou seja, de atenuar os picos de temperatura e de provocar o seu desfasamento no tempo. Isto acontece devido à sua capacidade de acumular calor nos elementos construtivos. A velocidade de absorção e a quantidade de calor absorvida determina a inércia térmica dum edifício.

A inércia térmica influencia o comportamento do edifício tanto de Inverno ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, como de Verão ao influenciar a capacidade de reacção do edifício aos picos de temperatura. Para efeitos do regulamento foram definidas três classes de inércia térmica: forte, média e fraca conforme representado na tabela 3.20.

Tabela 3.20 – Classe de inércia térmica interior - RCCTE

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (kg/m^2)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A classe da inércia térmica resulta do cálculo da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento cuja definição, cálculo e terminologia empregue vêm descritos no n.º 2 do anexo VII do RCCTE [2]. A massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento, I_t , é calculada a partir da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot S_i \cdot r_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (3.3)$$

em que:

M_{si} – massa superficial útil do elemento i [kg/m^2];

S_i – área da superfície interior do elemento i [m^2];

r_i – factor de redução que toma em conta a influência dos revestimentos superficiais interiores com propriedades de isolamento térmico;

A_p – área útil de pavimento [m^2].

A massa superficial útil, M_{si} , de cada elemento de construção envolvente ou interior à fracção autónoma depende da sua massa total por unidade de área (m_t) e, ainda, da sua localização no edifício, da sua própria massa superficial e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento de uma eventual solução de isolamento térmico, bem como ainda das características térmicas do respectivo revestimento superficial interior, determinante para a obtenção do factor de correcção r .

Para o cálculo da massa (m_i ou m_t) de cada elemento para o caso de estudo, foi necessária a consulta do ITE 50 [13] e o ITE 12 [12], como constante na tabela seguinte:

Tabela 3.21 – Cálculo inércia térmica

Elemento de Construção	M_i (kg/m ²)	M_{si} (kg/m ²)	S_i (m ²)	Factor Correcção, r	$M_{si}.r.S_i$ (kg)
Paredes Exteriores	158	150	121,62	1,0	18243
Pilares e Vigas em P. Exteriores	143	143	21,54	1,0	3080,22
Pavimentos Exteriores	276	150	50,86	1,0	7629
Cobertura Exterior	390	150	196,84	1,0	29526
Paredes Contacto Com Garagem	180	150	17,15	1,0	2572,5
Paredes Contacto Com Lavandaria	180	150	15,66	1,0	2349
Pavimento Sobre Lavandaria	276	150	2,92	1,0	438
Laje Sanitária	236	150	150,18	1,0	22527
Pavimento Intermédio	276	276	168,61	1,0	46536,4
Paredes Interiores à Fracção	220	220	98,28	1,0	21621,6

TOTAL	154523
--------------	---------------

/

Área de Pavimento Útil, A_p (m ²)	374,52
---	--------

I_t (kg/m²)	412,589
--	----------------

Factor Solar e Factor de Obstrução

O cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados pode ser realizado através de um dos dois métodos: método simplificado ou método detalhado. Em ambos os casos é preponderante o conhecimento quer do factor solar dos envidraçados quer do factor de obstrução.

O método simplificado é usado para dispensar um cálculo exaustivo dos vários coeficientes de sombreamento F para cada orientação, o valor do produto $F_s.F_g.F_w$ pode ser considerado

igual a 0,46 desde que sejam satisfeitas as condições mencionadas no ponto 4.3.1.2 do anexo IV do RCCTE [2]. Nestas condições, na estação de aquecimento os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados podem ser calculados pela equação:

$$Q_s = G_{sul} \sum_j [X_j \cdot 0,46 \cdot A_j \cdot g_{\perp}] \cdot M \quad [kWh] \quad (3.4)$$

em que:

G_{sul} – é o valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária durante a estação de aquecimento [KWh/m^2] (anexo III do RCCTE);

X_j – é o factor de orientação para as diferentes exposições (quadro IV.4 do RCCTE);

A_j – é a área efectiva colectora da radiação solar que tem a orientação j [m^2];

g_{\perp} – é o factor solar do vão envidraçado para radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar;

M – é a duração da estação de aquecimento, em meses (anexo III do RCCTE).

Segundo o método detalhado, na estação de aquecimento, os ganhos solares são calculados pela equação seguinte:

$$Q_s = G_{sul} \sum_j [X_j \sum_n A_{snj}] \cdot M \quad [kWh] \quad (3.5)$$

em que:

G_{sul} – é o valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária durante a estação de aquecimento [KWh/m^2] (anexo III do RCCTE);

X_j – é o factor de orientação para as diferentes exposições (quadro IV.4 do RCCTE);

A_{snj} – é a área efectiva colectora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j [m^2];

j – é o índice que corresponde a cada uma das orientações;

n – é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ;

M – é a duração da estação de aquecimento, em meses (anexo III do RCCTE).

O valor de A_s deve ser calculado vão a vão, ou por grupo de vãos com características idênticas de protecção solar e de incidência da radiação solar, segundo a equação:

$$A_s = A \cdot F_s \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \quad [m^2] \quad (3.6)$$

em que:

A – é a área total do vão envidraçado, isto é, área da janela, incluído vidro e caixilho [m^2];

F_s – é o factor de obstrução;

F_g – é a fracção envidraçada;

F_w – é o factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar;

g_{\perp} - é o factor solar do vão envidraçado para radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar;

O Factor solar do vão envidraçado (g_{\perp}) varia entre 0 e 1 e é um valor que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado. [2]

No caso em que se pretenda o aproveitamento máximo da radiação solar, os dispositivos de protecção móveis devem estar abertos e nessas circunstâncias é considerado apenas o valor do factor solar do envidraçado. Como dispositivos móveis podemos considerar os estores, portadas, gelosias e cortinas, entre outros. Sempre que seja previsível a utilização de dispositivos que normalmente permanecem fechados durante a estação de aquecimento, estes devem ser considerados no cálculo do factor solar do vão envidraçado.

Na estação de aquecimento para calcular o factor solar dos vãos envidraçados do sector residencial deve, salvo justificação em contrário, ser considerada a existência de, pelo menos, cortinas interiores muito transparentes de cor clara. Assim deve adoptar-se por defeito o valor de $g_{\perp}=0,70$ para vidro simples incolor com cortinas interiores muito transparentes e o valor de $g_{\perp}=0,63$ para vidro duplo incolor com cortinas interiores muito transparentes.

Outros valores típicos de factor solar de envidraçados, encontram-se na tabela IV.4 do RCCTE. Para calcular o factor solar de outros envidraçados deve ser seguido o método de cálculo especificado na norma EN 410.

Assim, o factor de obstrução (F_s) representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, como é o caso de obstrução causada por outros edifícios, orografia, vegetação, outros corpos do mesmo edifício, palas varandas, elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia, etc. O factor de obstrução varia entre 0 e 1 e pode ser calculado pela seguinte equação:

$$F_s = F_h \cdot F_0 \cdot F_f \quad (3.7)$$

em que:

F_h – é o factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_0 – é o factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado (palas, varandas);

F_f – é o factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado (palas verticais, outros corpos ou partes do mesmo edifício).

Na estação de aquecimento, o RCCTE estabelece que em caso nenhum, o produto do factor de orientação (X_j) pelo factor de obstrução F_s deve ser inferior a 0,27.

O factor de sombreamento do horizonte (F_h) é o efeito do sombreamento de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou criadas por outros edifícios vizinhos, depende do ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento. O ângulo de horizonte é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a recta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal ao envidraçado [2], conforme se pode verificar na figura 3.14.

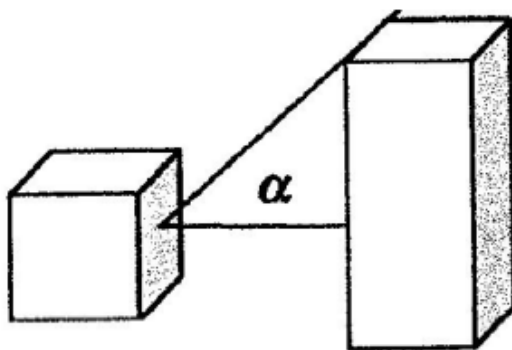


Figura 3.14 – Ângulo de horizonte (α) [2]

Os valores dos factores de sombreamento F_h para a estação de aquecimento (inverno) encontram-se na tabela IV.5 do RCCTE e o ângulo de horizonte deve ser calculado para cada edifício ou fracção autónoma e para cada vão de cada fachada. O valor de F_h para a estação de arrefecimento (verão) é igual a 1. Caso não exista informação para cálculo do ângulo de horizonte, F_h deve ser calculado adoptando um ângulo de horizonte de 45° em ambientes urbanos ou de 20° para edifícios isolados fora das zonas urbanas.

O factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado (F_0) é a percentagem da área do envidraçado que não é sombreada por palas, varandas ou outros elementos exteriores horizontais dependendo, naturalmente, do ângulo de incidência da radiação solar, do comprimento do elemento horizontal sobreposto ao vão e da orientação deste, conforme figura 3.15. Os valores dos factores de correcção de sombreamento para a estação de aquecimento de F_0 encontram-se na tabela IV.6 do RCCTE.

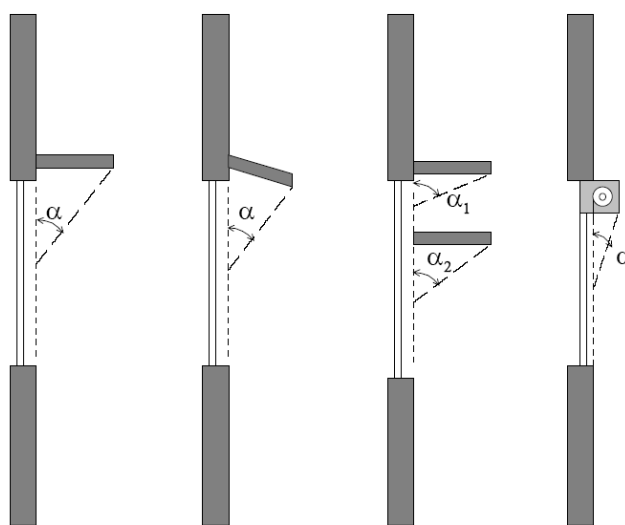


Figura 3.15 – Ângulo de pala horizontal (α) – Secção Vertical [15]

No caso do factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado (F_f), corresponde aos elementos verticais de protecção solar (figura 3.16) e encontra-se na tabela IV.7 do RCCTE.

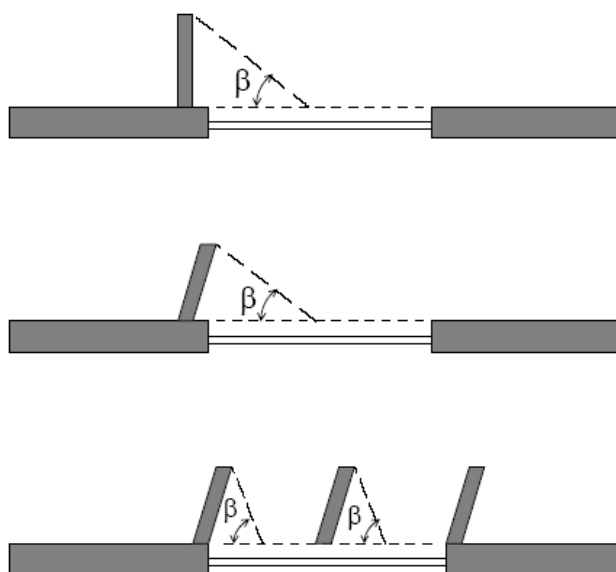


Figura 3.16 – Ângulo da pala vertical (β) – Secção horizontal [15]

Nos casos em que não exista qualquer pala de sombreamento (horizontal ou vertical), de modo a contabilizar o efeito de sombreamento do contorno do vão envidraçado, deve ser considerado o valor de 0,90 para o produto $F_0 \cdot F_f$.

A fracção envidraçada (F_g) traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do envidraçado, estando representados no quadro IV.5 do RCCTE os valores típicos da fracção envidraçada de diferentes tipos de caixilharia [2].

Por último o factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados (F_w), traduz a redução dos ganhos solares causada pelo ângulo de incidência da radiação solar directa. Para vidros simples e duplos correntes, na estação de aquecimento o valor de F_w assume o valor de 0,90.

Na tabela 3.22 resume-se, para cada envidraçado, o valor dos vários factores para o caso de estudo para a estação de aquecimento:

Tabela 3.22 – Factores de sombreamento dos envidraçados no Inverno

Envidraçado	Orientação	α (F_h)	F_h	α (F_0)	F_0	Posição	β (F_f)	F_f	F_s	g_{\perp}
E_E1	Este	20	0,84	52	0,69	I_I	37	0,83	0,48	0,78
E_E2	Este	20	0,84	51	0,70	_I	13	0,94	0,55	0,78
E_E3	Este	20	0,84	51	0,70	_I	36	0,84	0,49	0,78
E_E4	Este	20	0,84	14	0,93	-	-	-	0,78	0,78
E_E5	Este	20	0,84	73	0,64	I_	55	1,00	0,54	0,78
S_E1	Sul	20	0,90	77	0,44	_I	65	0,83	0,33	0,78
S_E2	Sul	20	0,90	51	0,53	-	-	-	0,48	0,78
W_E1	Oeste	20	0,84	51	0,70	_I	37	1,00	0,59	0,78
W_E2	Oeste	20	0,84	55	0,67	I_I	29-5	0,98	0,55	0,78
W_E3	Oeste	20	0,84	55	0,67	I_I	7-10	0,95	0,53	0,78
W_E4	Oeste	20	0,84	55	0,67	I_I	5-30	0,86	0,48	0,78

Os ganhos solares na estação de arrefecimento (Verão) são calculados de modo algo similar pela seguinte equação:

$$Q_s = \sum_j [I r_j \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_0 \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp}) n_j] \quad [kWh] \quad (3.8)$$

em que:

Ir_j – é a energia solar incidente no vão envidraçado com a orientação j ;

A – é a área total do vão envidraçado, isto é, área da janela, incluído vidro e caixilho [m^2];

F_h – é o factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_0 – é o factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado (palas, varandas);

F_f – é o factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado (palas verticais, outros corpos ou partes do mesmo edifício).

F_g – é a fracção envidraçada;

F_w – é o factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar;

g_{\perp} - é o factor solar do vão envidraçado para radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar;

n_j – é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ;

Do mesmo modo que no caso da estação de aquecimento, para dispensar um cálculo exaustivo dos vários coeficientes F para cada orientação, o valor do produto $F_h.F_0.F_f.F_g.F_w$ pode ser considerado igual a 0,51 na estação de arrefecimento, desde que os envidraçados não sejam sombreados por elementos do edifício, nomeadamente palas ou outros elementos. Esta aproximação é satisfatória quando os elementos horizontais que se projectam sobre a janela têm um comprimento inferior a 1/5 da altura da janela, e os elementos verticais adjacentes às janelas não se projectam mais de 1/4 da sua largura.

Nestas condições, na estação de arrefecimento os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados podem ser calculados, para cada fachada, pela equação:

$$Q_s = \sum_j [Ir_j \sum_n (A_j \cdot 0,51 \cdot g_{\perp}) n_j] \quad [kWh] \quad (3.9)$$

em que:

Ir_j – é a energia solar incidente no vão envidraçado com a orientação j ;

A_j – é a área efectiva colectora da radiação solar que tem a orientação j [m^2];

g_{\perp} - é o factor solar do vão envidraçado para radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar;

n_j – é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ;

O factor solar do envidraçado na estação de arrefecimento deve ser calculado com os dispositivos de sombreamento móveis activados a 70%. Tal significa que o factor solar do envidraçado é a soma de 30% do factor solar do vidro nu com 70% do factor solar do vão envidraçado com a protecção solar móvel totalmente activada, de acordo com a seguinte expressão:

$$g_{\perp} = 0,3g_{\perp v} + 0,7g'_{\perp}$$

$$g_{\perp} = 0,3 \times 0,78 + 0,7 \times 0,04$$

$$g_{\perp} = 0,26$$
(3.10)

em que:

$g_{\perp v}$ – factor solar do envidraçado;

g'_{\perp} – factor solar do vão envidraçado com protecção solar e vidro incolor.

Os valores do factor solar de vãos com protecção solar activada a 100% e do factor solar do vidro são retirados dos quadros V.4 e IV.4.1 do RCCTE, respectivamente.

Os valores dos factores de sombreamento por elementos horizontais (F_0) e verticais (F_f), para a estação de arrefecimento (Verão) são retirados dos quadros V.1, V.2 do RCCTE. Sendo que cálculo do factor de obstrução (F_s) dos vãos envidraçados para a estação de arrefecimento é igual ao cálculo para a estação de aquecimento, apenas de referir que na estação de arrefecimento o factor F_h considera-se igual a 1.

Na tabela 3.23 resume-se, para cada envidraçado, o valor dos vários factores para o caso de estudo para a estação de aquecimento:

Tabela 3.23 – Factores de sombreamento dos envidraçados no Verão

Envidraçado	Orientação	F_h	α (F_0)	F_0	Posição	β (F_f)	F_f	F_s	g_{\perp}
E_E1	Este	1,00	70	0,55	_	46	0,92	0,51	0,26
E_E2	Este	1,00	51	0,60	_	13	0,98	0,59	0,26
E_E3	Este	1,00	51	0,60	_	36	0,96	0,58	0,26
E_E4	Este	1,00	14	0,88	-	-	-	0,88	0,26
E_E5	Este	1,00	73	0,55	_	55	0,90	0,50	0,26
S_E1	Sul	1,00	77	0,52	_	65	0,84	0,44	0,26
S_E2	Sul	1,00	51	0,54	-	-	-	0,54	0,26
W_E1	Oeste	1,00	51	0,60	_	37	0,94	0,56	0,26
W_E2	Oeste	1,00	55	0,58	_	29-5	0,94	0,55	0,26
W_E3	Oeste	1,00	55	0,58	_	7-10	0,98	0,57	0,26
W_E4	Oeste	1,00	55	0,58	_	5-46	0,95	0,55	0,26

Zonamento Climático e Energia Solar Incidente

No que diz respeito á divisão climática do País, o regulamento divide o País em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3), como representado na figura 3.17:

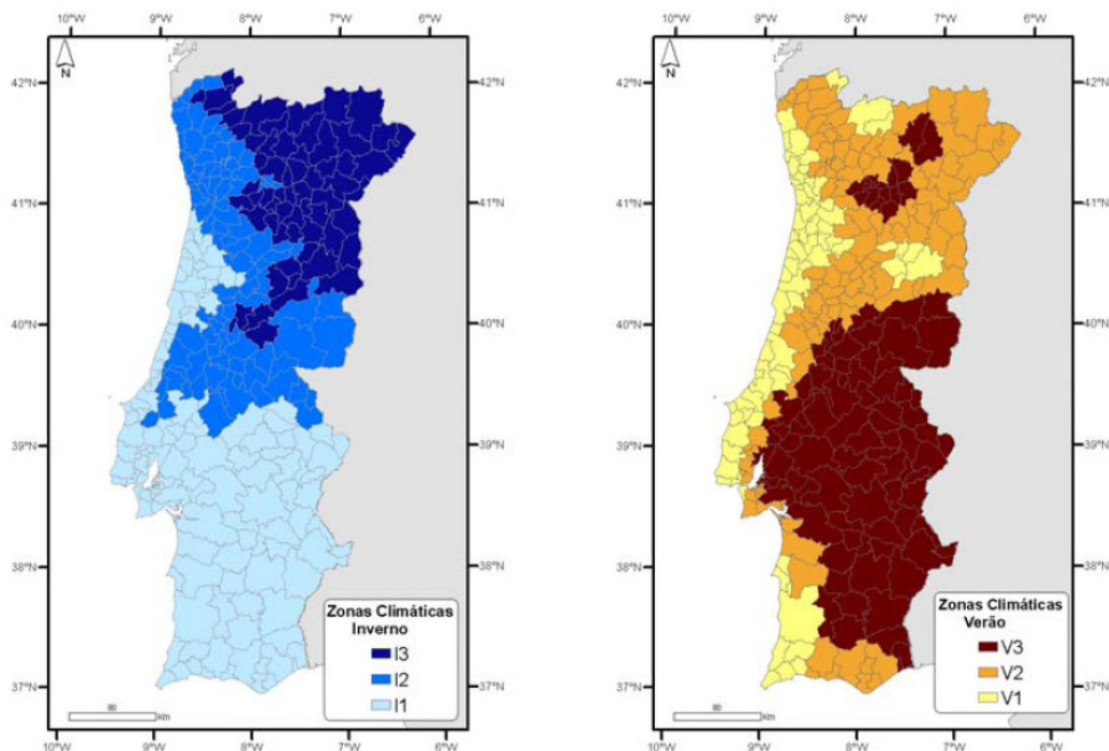


Figura 3.17 – Zonamento climático [15]

Em apoio à verificação da satisfação das exigências regulamentares aplicáveis e ao cálculo dos valores das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento no Quadro III.1 do RCCTE discrimina-se o zonamento climático por concelhos (Portugal Continental).

Caso a altitude do local seja superior a 400 metros, nos quadros III.2 e III.3 do RCCTE indicam-se as alterações em função da altitude dos locais, a introduzir aos dados climáticos de referência indicados no quadro III.1 do RCCTE.

Para a região autónoma dos Açores as zonas climáticas de Inverno são, I1 nas localidades situadas até 600 m de altitude, I2 nas localidades situadas entre 600 m e 1000 m de altitude e I3 nas localidades situadas acima de 1000 m de altitude. No que diz respeito ao verão, é considerado a zona V1. Para cada local o número de graus-dias de aquecimento (na base de 20°C) da estação convencional de aquecimento pode ser calculado, em função da respectiva altitude (z), pela seguinte expressão [2]:

$$GD_{20}(est. aquec.) = 1,5 \times z + 650 \quad (3.11)$$

em que:

z – altitude [m].

Na região autónoma dos Açores a duração média da estação convencional de aquecimento, em função da altitude encontra-se no quadro III.4 do RCCTE e a temperatura exterior de projecto de Verão e a amplitude térmica diária do mês mais quente, em função da altitude, são dadas no quadro III.5 do RCCTE.

Na região autónoma da Madeira as zonas climáticas de Inverno são, I1 em localidades situadas até 800m de altitude, I2 nas localidades situadas entre 800 m e 1100 m de altitude e I3 nas localidades situadas acima de 1100 m de altitude. No que respeita ao verão, é considerada a zona V1. Para cada local, o número de graus-dias de aquecimento da estação convencional de aquecimento pode ser calculado, em função da respectiva altitude (z), pelas seguintes expressões [2]:

$$z < 400m \quad GD_{20}(est. aquec.) = 2,4 \times z + 50 \quad (3.12)$$

$$z \geq 400m \quad GD_{20}(est. aquec.) = 1,6 \times z + 380 \quad (3.13)$$

em que:

z – altitude [m].

Para a região autónoma da Madeira a duração média da estação convencional de aquecimento, em função da altitude encontra-se no quadro III.6 do RCCTE e a temperatura exterior de projecto de Verão e a amplitude térmica diária do mês mais quente, em função da altitude, são dadas no quadro III.7 do RCCTE.

A energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento encontram-se no quadro III.8 do RCCTE. Os valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro é por sua vez dada pelo quadro III.9 do RCCTE).

Em suma os elementos climáticos necessários para o cálculo do caso de estudo são os seguintes:

Tabela 3.24 – Dados climáticos do caso de estudo

Designação		Dados
Concelho		Valença
Altitude (m)		< 400
Zona climática de Inverno		I2
Zona climática de Verão		V2
Nº de Graus-Dias (°C)		1820
Duração da estação de aquecimento (meses)		6,3
Energia solar média mensal (Kwh/m ² .mês) (Inverno)		93
Temperatura média do ar exterior no verão (°C)		19
Intensidade média de radiação solar (Verão)	N	200
	E	450
	S	420
	W	450

3.2.2 Verificação dos requisitos mínimos

Para verificar os requisitos mínimos, é necessário o cálculo prévio de alguns parâmetros, já executado no capítulo 3.2.1. No caso do coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos, os valores limite impostos pelo RCCTE encontram-se no quadro IX.1 do regulamento e nenhum elemento da envolvente de qualquer edifício pode ter um coeficiente de transmissão térmica em zona corrente superior ao valor correspondente no quadro.

Nas zonas não correntes da envolvente (pontes térmicas planas), nenhum elemento opaco pode ter um valor de U superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos do quadro IX.1 do RCCTE.

No que diz respeito ao factor solar máximo admissível, nenhum vão envidraçado da envolvente de qualquer edifício com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, desde que não orientado a norte, pode apresentar um factor solar correspondente ao vão envidraçado com o(s) respectivo(s) dispositivo(s) de protecção 100% activo(s) que exceda os valores indicados no quadro IX.2 do RCCTE [2]. O valor do factor solar máximo admissível depende da classe de inércia térmica e da zona climática.

No caso de estudo e segundo as soluções construtivas adoptadas para a envolvente opaca e envidraçados, a verificação dos requisitos admissíveis para os coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca e para o factor solar dos vãos envidraçados encontram-se na tabela 3.26

Tabela 3.25 – Verificação dos requisitos mínimos

Solução adoptada	U (W/m ² .°C)	Valor máximo regulamentar	Observações
Coeficientes Transmissão Térmica			
Parede Exterior – PE1	0,46	1,60	Regulamentar
Pavimento Exterior	0,61	1,00	Regulamentar
Cobertura Exterior	0,50	1,00	Regulamentar
PI1	0,46	2,00	Regulamentar
PI2	1,28	2,00	Regulamentar
PI3	1,51	2,00	Regulamentar
Pavimento Interior - Sobre Lavandaria	0,57	1,30	Regulamentar
Pavimento Interior - Laje Sanitária	0,57	1,30	Regulamentar
Factor Solar dos Envidraçados			
g 100%	0,04	0,56	Regulamentar
Pontes Térmicas Planas			
Vigas e Pilares em PE1	0,60	0,92	Regulamentar
Pilares em PI 1	0,58	0,92	Regulamentar

3.2.3 Cálculo das necessidades de aquecimento (N_{ic})

As necessidades nominais de aquecimento de uma fracção autónoma de um edifício são a energia útil que é necessário fornecer-lhe para manter permanentemente no seu interior a temperatura de referência de 20°C, definida no RCCTE durante toda a estação convencional de aquecimento. O valor das necessidades nominais, calculado para condições de referência, constitui uma forma de comparar edifícios desde a fase de licenciamento, do ponto de vista do comportamento térmico. É importante referir que quanto maior for o valor das necessidades nominais, mais energia é necessário consumir para o aquecer e atingir uma temperatura confortável. [2]

O método de cálculo das necessidades de aquecimento está definido de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 13790, adaptado à realidade da construção e prática de utilização dos edifícios em Portugal. Para simplificar o cálculo considera-se todo o edifício como uma única zona e todo mantido permanentemente à temperatura de referência (20°C). As necessidades nominais de aquecimento resultam do valor integrado na estação de aquecimento da soma algébrica de três parcelas:

- 1 Perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios (Q_i);
- 2 Perdas de calor resultantes da renovação de ar (Q_v);

- 3 Ganhos de calor úteis (Q_{gu}), resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados.

As necessidades anuais de aquecimento do edifício ou fracção autónoma (N_{ic}) são calculadas através da seguinte expressão:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \quad [kWh/m^2.ano] \quad (3.14)$$

em que:

Q_t – Perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios [kWh]

Q_v – Perdas de calor resultantes da renovação de ar [kWh];

Q_{gu} – Ganhos de calor úteis [kWh];

A_p – área útil de pavimento [m^2].

O resultado final das necessidades nominais de aquecimento para o edifício em estudo encontra-se na folha de cálculo FCIV.2 dos anexos.

3.2.3.1 Perdas associadas à envolvente exterior, envolvente interior e vãos envidraçados

As perdas de calor pela envolvente durante a estação de aquecimento (Q_t), isto é, pelas paredes, pelos envidraçados, pela cobertura e pelo pavimento, devidas à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, resultam da soma de quatro parcelas [2]:

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{ina} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad [W] \quad (3.15)$$

em que:

Q_{ext} – perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior [W];

Q_{ina} – perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não aquecidos [W];

Q_{pe} – perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo [W];

Q_{pt} – perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes no edifício [W].

No que diz respeito às perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior (Q_{ext}) são calculadas, para cada um desses elementos, através da seguinte expressão [2]:

$$Q_{ext} = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_{atm}) \quad [W] \quad (3.16)$$

em que:

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

A – área do elemento da envolvente medida pelo interior [m^2];

θ_i – temperatura do ar no interior do edifício [$20^\circ C$];

θ_{atm} – temperatura do ar exterior [$^\circ C$].

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar as perdas é, para cada elemento da envolvente exterior, calculada pela seguinte expressão [2]:

$$Q_{ext} = 0,024 \cdot U \cdot A \cdot GD \quad [kWh] \quad (3.17)$$

em que:

GD – Graus-Dias de aquecimento (especificado para cada concelho no Quadro III.1 do RCCTE);

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

A – área do elemento da envolvente medida pelo interior [m^2].

As perdas pelas zonas correntes das paredes, coberturas, envidraçados e pavimentos que separam um espaço aquecido de um local não aquecido (Q_{lna}) são calculadas, para cada um desses elementos, através da seguinte expressão [2]:

$$Q_{lna} = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_a) \quad [W] \quad (3.18)$$

em que:

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

A – área do elemento da envolvente medida pelo interior [m^2];

θ_i – temperatura do ar no interior do edifício [$20^\circ C$];

θ_a – temperatura do ar do local não aquecido [$^\circ C$].

Para o cálculo da temperatura do ar do local não aquecido (θ_a) aplica-se a seguinte expressão [2]:

$$\theta_a = \theta_{atm} + (1 - \tau) \cdot (\theta_i - \theta_{atm}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.19)$$

em que:

θ_{atm} – temperatura do ar exterior [$^{\circ}\text{C}$];

τ – coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos.

Coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos (τ) pode tomar os valores convencionais indicados na tabela IV.1 do RCCTE, variando entre 0 ($\theta_i = \theta_a$) e 1 ($\theta_{atm} = \theta_a$), e é dado pela seguinte expressão [2]:

$$\tau = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_{atm}} \quad (3.20)$$

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar as perdas pelas zonas correntes das paredes, coberturas, envidraçados e pavimentos que separam um espaço aquecido de um local não aquecido é calculada pela expressão [2]:

$$Q_{lna} = 0,024 \cdot U \cdot A \cdot GD \cdot \tau \quad [kWh] \quad (3.21)$$

em que:

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];

A – área do elemento da envolvente medida pelo interior [m^2];

GD – Graus-Dias de aquecimento (especificado para cada concelho no Quadro III.1 do RCCTE);

τ – coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos.

As perdas unitárias de calor (por grau centígrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através de elementos de construção em contacto com o terreno (L_{pe}) são calculadas, pela seguinte expressão [2]:

$$L_{pe} = \sum \psi_j \cdot B_j \quad [W/^{\circ}\text{C}] \quad (3.22)$$

em que:

ψ_j – coeficiente de transmissão térmica linear do elemento j [$\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$] (tabela IV.2 RCCTE);

B_j – perímetro do pavimento ou o desenvolvimento da parede, medido pelo interior do elemento j [m].

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar as perdas lineares é, para cada um elemento da envolvente em contacto com o solo, calculada pela seguinte expressão [2]:

$$Q_{pe} = 0,0024 \cdot L_{pe} \cdot GD \quad [kWh] \quad (3.23)$$

As perdas de calor lineares unitárias (por grau centígrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através das pontes térmicas (L_{pt}), tal como discriminado na tabela IV.3 do RCCTE são calculadas pela seguinte expressão [2]:

$$L_{pt} = \sum \psi_j \cdot B_j \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.24)$$

em que:

ψ_j – coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j [$W/m.^{\circ}C$] (tabela IV.3 RCCTE);

B_j – desenvolvimento linear (comprimento) da ponte térmica j , medido pelo interior [m].

Durante toda a estação de aquecimento a energia necessária para compensar estas perdas térmicas lineares é, para cada ponte térmica da envolvente, calculada pela seguinte expressão [2]:

$$Q_{pt} = 0,024 \cdot L_{pt} \cdot GD \quad [kWh] \quad (3.25)$$

Os cálculos das perdas mencionadas anteriormente encontram-se nas folhas de cálculo FCIV.1a, FCIV.1b e FCIV.1c nos anexos.

3.2.3.2 Perdas associadas à renovação de ar

As perdas de calor por unidade de tempo associadas à renovação de ar interior (Q_{ra}) são calculadas pela seguinte expressão [2]:

$$Q_{ra} = \frac{\rho \cdot C_p \cdot R_{ph} \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_{atm})}{3600} \quad [W] \quad (3.26)$$

$$\frac{\rho \cdot C_p}{3600} = 0,34 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C} \quad (3.27)$$

$$Q_{ra} = 0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d \cdot (\theta_i - \theta_{atm}) \quad [W] \quad (3.28)$$

em que:

ρ – massa volúmica do ar [$1,2191 \text{ kg/m}^3$];

C_p – calor específico do ar [$1005,6 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$];

R_{ph} – número de renovações horárias do ar interior [h^{-1}];

V – volume interior da fracção autónoma [m^3], ou seja, o produto da área útil de pavimento pelo pé direito médio;

θ_i – temperatura interior de referência [$20 ^\circ\text{C}$];

θ_{atm} – temperatura do ar exterior [$^\circ\text{C}$];

A_p – área útil de pavimento [m^2];

P_d – pé-direito médio [m].

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar as perdas de calor por unidade de tempo correspondentes à renovação do ar interior é calculada pela expressão [2]:

$$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \quad [kWh] \quad (3.29)$$

em que:

GD – Graus-Dias de aquecimento (especificado para cada concelho no Quadro III.1 do RCCTE);

R_{ph} – número de renovações horárias do ar interior [h^{-1}];

A_p – área útil de pavimento [m^2];

P_d – pé-direito médio [m].

Caso seja ventilação mecânica com recuperador de calor a expressão é a seguinte:

$$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \cdot (1 - \eta_v) \quad [kWh] \quad (3.30)$$

em que:

η – rendimento do sistema de recuperação de calor;

GD – Graus-Dias de aquecimento (especificado para cada concelho no Quadro III.1 do RCCTE);

R_{ph} – número de renovações horárias do ar interior [h^{-1}];

A_p – área útil de pavimento [m^2];

P_d – pé-direito médio [m].

Sempre que houver ventilação mecânica, deve ser adicionada a Q_v o consumo de energia eléctrica (E_v) necessária ao seu funcionamento, que se considera ligado em permanência durante vinte e quatro horas por dia, durante a estação de aquecimento, e sendo calculado pela seguinte expressão:

$$E_v = P_v \cdot 24,0,03 \cdot M \quad [kWh] \quad (3.31)$$

em que:

P_v – é a soma das potências eléctricas de todos os ventiladores instalados [W];

M – duração média da estação convencional de aquecimento [meses] (Anexo III do RCCTE).

Os cálculos das perdas acima mencionadas encontram-se na folha de cálculo FCIV.1d nos Anexos.

Os edifícios devem ser ventilados permanentemente por um caudal mínimo de ar, mesmo nos períodos em que a temperatura exterior obriga a manter as janelas fechadas, de modo a contribuir para as condições de higiene e salubridade do ar interior e também para o conforto dos ocupantes. Os edifícios podem ser ventilados por ventilação natural, mais comum nos edifícios residenciais, ou por via mecânica, ou ainda por uma combinação destes dois processos.

No caso dos edifícios ventilados naturalmente, caso estejam conforme a norma NP 1037, a taxa de renovação horária nominal é de, $R_{ph} = 0,6 h^{-1}$. Como grande parte dos edifícios não cumpre tal norma, há que determinar a respectiva classe de exposição à acção do vento e definir a permeabilidade ao ar da caixilharia para determinar o número de renovações por hora.

A classe de exposição ao vento (Quadro IV.2 do RCCTE) depende da altura da fracção autónoma acima do solo, da região (região A e região B) em que o edifício se situa e da rugosidade (rugosidade I, II e III) da zona envolvente.

A classe de permeabilidade ao ar da caixilharia é classificada em 4 classes (por ordem crescente de desempenho): sem classificação, classe 1, classe 2 e classe 3. A classe de

permeabilidade é definida pelo caudal de ar que atravessa a caixilharia, em função da diferença de pressão criada entre as duas faces (figura 3.18).

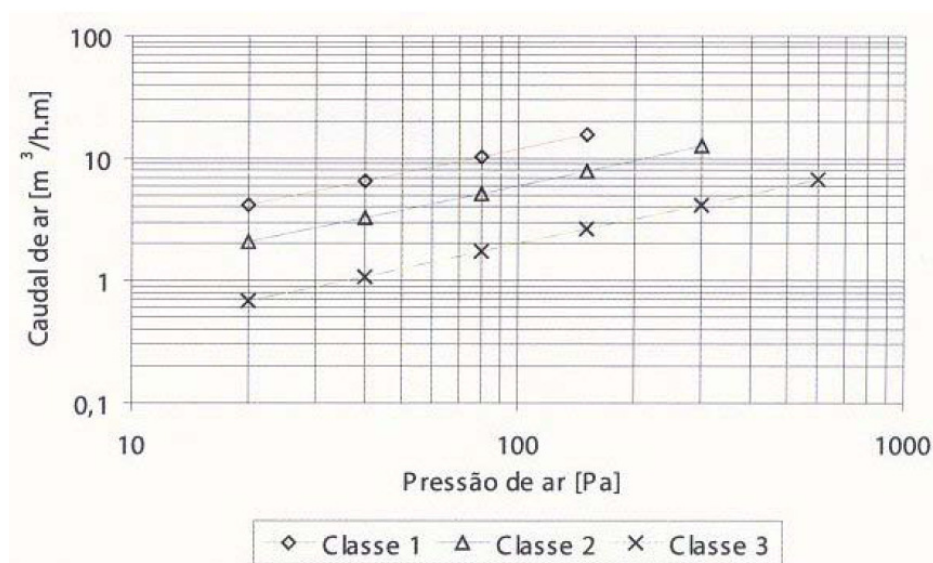


Figura 3.18 – Limites superiores das classes de permeabilidade ao ar das caixilharias [16]

Deve-se ter em atenção para o facto de quanto menor for a permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados mais precauções deverão ser tomadas no que respeita à ventilação para minimizar os riscos de ocorrência de condensações nos elementos da envolvente e para garantir uma qualidade do ar interior adequada.

Uma vez definidas a classe de exposição do edifício e a permeabilidade ao ar da caixilharia a instalar, a taxa de renovação de ar horária nominal, R_{ph} , a adoptar é obtida por consulta do quadro IV.1 do anexo IV do RCCTE.

Devem ser introduzidas eventuais correcções aos valores obtidos do quadro IV.1 do anexo IV do RCCTE, no caso das aberturas de ventilação não serem auto-reguláveis e permitirem uma variação excessiva do caudal. Nestas situações os valores de R_{ph} do quadro IV.1 do RCCTE devem ser agravados de $0,10 \text{ h}^{-1}$. No caso da área relativa dos vãos envidraçados, os valores do quadro IV.1 do RCCTE foram obtidos tendo por base uma área máxima de vãos envidraçados (A_{env}) igual a 15 % da área útil do pavimento (A_p). Por essa razão devem-se agravar os valores em $0,10 \text{ h}^{-1}$, se $A_{env} > 0,15 A_p$. A R_{ph} diminuirá se as juntas móveis de todas as portas exteriores do edifício, ou fracção autónoma, forem bem vedadas por aplicação de borrachas ou equivalente em todo o seu desenvolvimento. Neste caso, o RCCTE admite a redução em $0,05 \text{ h}^{-1}$.

Em alternativa à ventilação natural, a renovação de ar das fracções autónomas pode ser assegurada por meios mecânicos, nomeadamente recorrendo a sistemas de extracção nas instalações sanitárias. Neste caso, a R_{ph} a considerar deve incluir os caudais de ar

correspondentes à ventilação mecânica e à ventilação natural. Assim sendo, a taxa de renovação horária é dada pela expressão:

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}_f + \dot{V}_x}{V} \quad [h^{-1}] \quad (3.32)$$

em que:

\dot{V}_f – Caudal devido à ventilação mecânica [m^3/h];

\dot{V}_x – Caudal devido à ventilação natural [m^3/h];

V – Volume interior da fracção autónoma [m^3].

O caudal devido à ventilação mecânica, \dot{V}_f , toma os seguintes valores: o maior dos valores correspondentes ao caudal insuflado (\dot{V}_{ins}) ou extraído (\dot{V}_{ext}), no caso de sistemas mecânicos de caudal constante; o maior dos valores médios diários dos caudais insuflado e extraído, no caso de sistemas mecânicos de caudal variável.

A taxa de renovação horária devida à ventilação natural $\frac{\dot{V}_x}{V}$ toma valores em função da classe de exposição do edifício e do desequilíbrio entre os caudais insuflados e extraídos mecanicamente.

No caso de estudo apenas se considera ventilação natural. Sendo a caixilharia de classe 3 (conforme dados técnicos da Cortizo), com caixa de estore, a classe de exposição 2, não existindo aberturas auto-reguladas, sendo a área de envidraçado superior a 15% da A_p e não sendo as portas exteriores bem vedadas, o valor de taxa de renovação nominal é de $1,00 \text{ h}^{-1}$.

3.2.3.3 Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Os ganhos térmicos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas origens [2]:

- i. Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor (Q_i);
- ii. Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar através dos vãos envidraçados (Q_s).

Os ganhos térmicos brutos (Q_g) são calculados com base na seguinte expressão [2]:

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad [kWh] \quad (3.33)$$

Como nem todos os ganhos térmicos brutos se traduzem num aquecimento útil do ambiente interior, os ganhos térmicos brutos são convertidos em ganhos úteis através do factor de utilização dos ganhos térmicos, segundo a seguinte expressão:

$$Q_{gu} = \eta \cdot Q_g \quad [kWh] \quad (3.34)$$

em que,

Q_{gu} – ganhos térmicos úteis [kWh];

η – factor de utilização dos ganhos úteis;

Q_g – ganhos térmicos brutos [kWh].

O factor de utilização dos ganhos térmicos (η) é calculado em função da inércia térmica do edifício e da relação (γ) entre os ganhos térmicos brutos e as perdas térmicas totais, de acordo com as seguintes expressões, representadas graficamente na Figura 3.19:

$$\begin{cases} \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} & \text{se } \gamma \neq 1 \\ \eta = \frac{a}{a+1} & \text{se } \gamma = 1 \end{cases} \quad (3.35)$$

em que a é um parâmetro que afecta a forma da curva η - γ em função da inércia térmica do edifício:

$$a = \begin{cases} 1,8 - \text{edifícios com inércia térmica fraca;} \\ 2,6 - \text{edifícios com inércia térmica média;} \\ 4,2 - \text{edifícios com inércia térmica forte;} \end{cases} \quad (3.36)$$

E

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos térmicos brutos}}{\text{Necessidades brutas de aquecimento}} = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v} \quad (3.37)$$

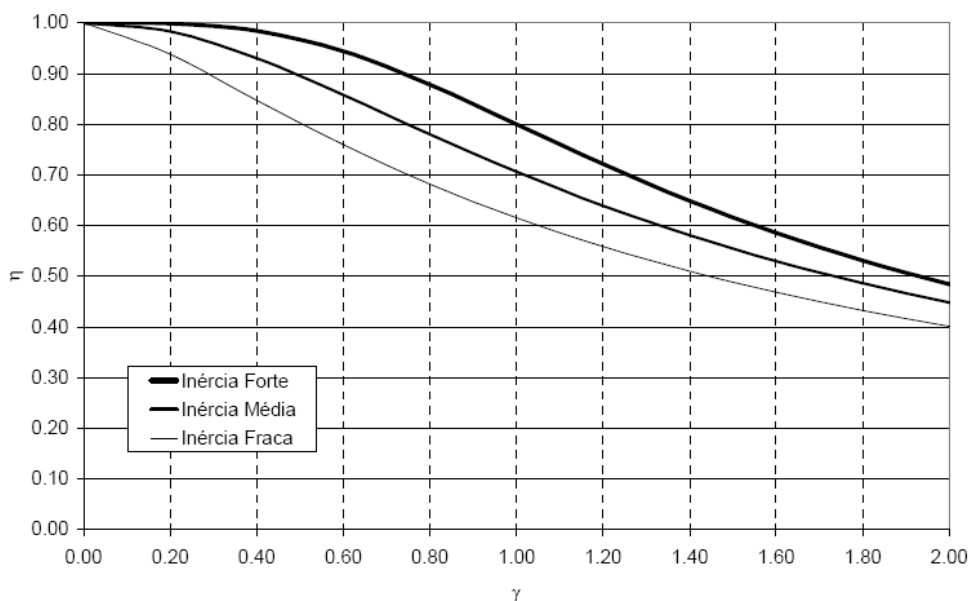


Figura 3.19 – Factor de utilização dos ganhos térmicos η em função do γ e da classe de inércia térmica [15]

Devem-se evitar obter valores de γ elevados, que consequentemente originem valores de η inferiores a 0,8, pois estes podem provocar graves riscos de sobreaquecimento.

Os ganhos térmicos internos (Q_i) incluem ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes, calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação e qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, excepto o sistema de aquecimento, sendo calculados pela seguinte expressão:

$$Q_i = q_i \cdot M \cdot A_p \times 0,720 \quad [kWh] \quad (3.38)$$

em que:

q_i - ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento [W/m^2], numa base de 24 h/dia, todos os dias do ano para os edifícios residenciais, e em cada dia em que haja ocupação para os edifícios de serviços (Quadro IV.3 do RCCTE);

M - duração média da estação convencional de aquecimento [meses] (Quadro III.1 do RCCTE);

A_p - área útil de pavimento [m^2].

O cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados (Q_s), encontra-se descrito no ponto 3.2.1, sendo calculado, para cada um dos elementos, através da seguinte expressão:

$$Q_s = M \cdot G_{sul} \sum_j [X_j \cdot \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp})_{nj}] \quad [kWh] \quad (3.39)$$

em que:

M - duração média da estação convencional de aquecimento [meses] (Quadro III.1 do RCCTE);

G_{sul} - valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária durante a estação de aquecimento [$kWh/m^2 \cdot mes$] (Quadro III.8 do RCCTE);

X_j - factor de orientação, para as diferentes posições (Quadro IV.4 do RCCTE);

A - área efectiva colectora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j [m^2];

g_{\perp} - factor solar do vão envidraçado;

F_h - factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o - factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado;

F_f - factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado;

F_g - fracção envidraçada;

F_w - factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados;

Os vários cálculos dos ganhos úteis da estação de aquecimento encontram-se na folha de cálculo FCIV.1e nos Anexos desta dissertação.

3.2.3.4 Valor máximo das necessidades de aquecimento (Ni)

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (Ni) de uma fracção autónoma, dependem dos valores do Factor de Forma (FF) da fracção autónoma e dos Graus-Dias (GD) correspondentes ao concelho onde o edifício se encontra situado, e são os seguintes:

$$\begin{cases} Ni = 4,5 + 0,0395 \cdot GD & \text{para } FF < 0,5 & [kWh/m^2 \cdot ano] \\ Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 \cdot FF) \cdot GD & \text{para } 0,5 < FF < 1 & [kWh/m^2 \cdot ano] \\ Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 \cdot FF) \cdot GD] \cdot (1,2 - 0,2 \cdot FF) & \text{para } 1 < FF < 1,5 & [kWh/m^2 \cdot ano] \\ Ni = 4,05 + 0,06885 \cdot GD & \text{para } FF > 1,5 & [kWh/m^2 \cdot ano] \end{cases} \quad (3.40)$$

em que:

FF – factor de forma;

GD - Graus-Dias de aquecimento (especificado para cada concelho no Quadro III.1 do RCCTE).

O factor de forma (FF) é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior (A_{ext}) e interior (A_{int}) do edifício ou fracção autónoma com exigências térmicas e respectivo volume interior (V) correspondente, conforme a seguinte expressão:

$$FF = [A_{ext} + \sum (\tau \cdot A_{int})_i] / V \quad (3.41)$$

em que:

A_{ext} – soma da área de todos os elementos da envolvente exterior, nomeadamente, paredes, envidraçados e pavimentos [m^2];

A_{int} – soma da área dos elementos da envolvente interior com o mesmo coeficiente τ [m^2];

τ – coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos;

V – volume interior [m^3].

Nos anexos desta dissertação na folha de cálculo FCIV.1f encontram-se os resultados do factor de forma e das necessidades nominais de aquecimento máximas (N_i).

3.2.3.5 Valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i)

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) não devem exceder o valor máximo admissível (N_i), isto significa que:

$$N_{ic} < N_i$$

Como já foi referido no capítulo 3.2.3.1 os valores das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e os valores das necessidades nominais de aquecimento máximas (N_i) para o edifício em estudo encontra-se na folha de cálculo FCIV.2 dos Anexos desta dissertação.

3.2.4 Cálculo das necessidades de arrefecimento (N_{vc})

As necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) consistem na energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma de modo a que a temperatura de referência definida no artigo 14º do capítulo V do RCCTE seja permanentemente mantida.

Sendo de evitar o sobreaquecimento das fracções autónomas, a temperatura interior deve ser mantida abaixo da temperatura de referência para a estação de arrefecimento (25°C). Evitando sempre que possível a utilização de sistemas mecânicos. No entanto, sempre que os ganhos internos e solares contribuam para o seu sobreaquecimento, considera-se a existência de ganhos excessivos, os quais devem ser neutralizados, entrando-se deste modo no campo das necessidades de arrefecimento.

A metodologia de cálculo das N_{vc} é similar à adoptada para o cálculo das N_{ic} . No entanto, enquanto no Inverno os ganhos não-úteis são entendidos como não provocando sobreaquecimento do espaço interior, no Verão, os ganhos não-úteis consistem nos que originam necessidades de arrefecimento. Assim sendo, muitos dos parâmetros utilizados no cálculo das N_{ic} , são transpostos para o cálculo das N_{vc} .

As necessidades nominais de arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma (N_{vc}) são calculadas pela seguinte expressão [2]:

$$N_{vc} = Q_g \cdot (1 - \eta) / A_p \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (3.42)$$

em que:

Q_g – ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma [kWh];

η – factor de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento;

A_p – área útil de pavimento [m²].

Os ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma são determinados pela soma dos diversos componentes, como representado na seguinte expressão:

$$Q_g = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad [kWh] \quad (3.43)$$

em que:

Q_1 – cargas individuais devidas a cada componente da envolvente, devidas aos fenómenos combinados da diferença de temperatura interior-exterior e da incidência da radiação solar (ganhos pela envolvente opaca) [kWh];

Q_2 – cargas devidas à entrada da radiação solar através dos envidraçados (ganhos pelos vãos envidraçados) [kWh];

Q_3 – cargas devidas à renovação do ar (perdas por ventilação) [kWh];

Q_4 – cargas internas, devidas aos ocupantes, aos equipamentos e à iluminação artificial (ganhos internos) [kWh].

O resultado final das necessidades anuais de arrefecimento para o edifício em estudo, encontra-se na folha de cálculo FCV.1g dos Anexos desta dissertação.

3.2.4.1 Perdas por ventilação

A metodologia de cálculo das perdas por ventilação na estação de arrefecimento (Verão) é idêntica à indicada no capítulo 3.2.3.2. Dado que a temperatura média exterior durante toda a estação de arrefecimento é sempre inferior à temperatura interior de referência (25°C), a ventilação é, em média, uma perda, sendo contabilizada na folha de cálculo FCV.1a do RCCTE, através da seguinte expressão:

$$Q_3 = 2,928 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot (\theta_m - \theta_i) \quad [kWh] \quad (3.44)$$

em que:

R_{ph} – número de renovações horárias do ar interior [h^{-1}];

A_p – área útil de pavimento [m^2];

P_d – pé-direito médio [m];

θ_m – temperatura média do ar exterior na estação convencional de arrefecimento na zona climática de Verão onde se localiza o edifício [°C] (Quadro III.9 do RCCTE);

θ_i – temperatura interior de referência [25 °C].

Encontram-se na folha de cálculo FCV.1a nos Anexos desta dissertação, o resultado das perdas devido à renovação de ar para cada fracção autónoma.

3.2.4.2 Perdas associadas a paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados exteriores (Verão)

A metodologia de cálculo das perdas associadas a paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados exteriores na estação de arrefecimento é a mesma da considerada na estação de aquecimento e encontra-se nas folhas de cálculo FCV.1a e FCV.1b nos Anexos desta dissertação.

3.2.4.3 Ganhos solares pela envolvente opaca

Os ganhos através da envolvente opaca exterior resultam dos efeitos combinados da temperatura do ar exterior a da radiação solar incidente, sendo que para o seu cálculo adopta-se uma metodologia simplificada baseada na «temperatura ar-sol», que se traduz, para cada orientação, na seguinte expressão [2]:

$$Q_{opaco} = U.A. (\theta_{ar-sol} - \theta_i) = U.A. \left(\theta_{atm} + \frac{\alpha.G}{h_e} - \theta_i \right) \quad [W] \quad (3.45)$$

em que:

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

A – área do elemento da envolvente [m^2];

θ_{ar-sol} – temperatura ar-Sol [$^\circ C$];

θ_i – temperatura do ambiente interior [$25^\circ C$];

θ_{atm} – temperatura do ar exterior [$^\circ C$];

α – coeficiente de absorção (para a radiação solar) da superfície exterior da parede (Quadro V.5 do RCCTE);

G – intensidade de radiação solar instantânea incidente em cada orientação [W/m^2];

h_e – condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente, que toma o valor de $25 W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Durante a estação convencional de arrefecimento, Q_1 é obtido pela integração dos ganhos instantâneos ao longo dos quatro meses em causa (122 dias), conduzindo assim à seguinte equação final [2]:

$$Q_1 = 2,928.U.A.(\theta_m - \theta_i) + U.A.\left(\frac{\alpha.I_r}{h_e}\right) \quad [kWh] \quad (3.46)$$

em que:

θ_m – temperatura média do ar exterior na estação convencional de arrefecimento na zona climática de Verão onde se localiza o edifício [$^\circ C$] (Quadro III.9 do RCCTE);

Ir – intensidade média de radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento [kWh/m^2] (Quadro III.9 do RCCTE).

A primeira parcela da equação anterior corresponde às perdas pela envolvente opaca e transparente devido apenas à diferença de temperatura interior e o exterior, pois a temperatura média do ar exterior durante toda a estação de arrefecimento é sempre inferior à temperatura interior de referência, no que diz respeito à segunda parcela, corresponde aos ganhos solares através da envolvente opaca. Nas folhas de cálculo FCV.1ª e FCV.1c que se encontram nos Anexos desta dissertação encontram-se os resultados das perdas e ganhos solares para o edifício em estudo.

3.2.4.4 Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

O cálculo dos ganhos solares através dos envidraçados é efectuado segundo a metodologia apresentada no capítulo desta dissertação, sendo a expressão a seguinte:

$$Q_s = \sum_j \left[I_{rj} \cdot \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp})_{nj} \right] \quad [kWh] \quad (3.47)$$

em que:

I_{rj} – intensidade da radiação solar incidente no vão envidraçado com a orientação j , na estação de arrefecimento [kWh/m^2] (Quadro III.9 do RCCTE);

A – área efectiva colectora da radiação solar na superfície n que tem a orientação j [m^2];

g_{\perp} – factor solar do vão envidraçado;

F_h – factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o – factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado;

F_f – factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado;

F_g – fracção envidraçada;

F_w – factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados.

É importante referir que os factores de obstrução, o factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados e o factor solar dos envidraçados utilizados na estação de arrefecimento são diferentes dos utilizados na estação de aquecimento.

Os resultados dos ganhos solares pelos envidraçados exteriores para o edifício do caso de estudo, encontra-se na folha de cálculo FCV.1d, que se encontra nos anexos desta dissertação.

3.2.4.5 Ganhos internos e ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão)

A metodologia de cálculo dos ganhos internos é igual à indicada no capítulo 3.2.3.3, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_i = 2,928 \cdot q_i \cdot A_p \quad [kWh] \quad (3.48)$$

em que:

q_i – ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento [W/m^2], numa base de 24 h/dia, todos os dias do ano para os edifícios residenciais, e em cada dia em que haja ocupação para os edifícios de serviços (Quadro IV.3 do RCCTE);

A_p – área útil de pavimento [m^2].

Quanto ao cálculo dos ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) é a soma dos ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores, ganhos solares pela envolvente opaca exterior e ganhos internos. O resultado dos ganhos totais e ganhos internos do edifício em estudo encontra-se na folha de cálculo FCV.1f e FCV.1e respectivamente, nos Anexos desta dissertação.

3.2.4.6 Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)

O valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc) é calculado segundo a metodologia apresentada no capítulo 3.2.4 e os valores das necessidades nominais de arrefecimento para o edifício em estudo encontra-se na folha de cálculo FCV.1g dos Anexos desta dissertação.

3.2.4.7 Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nv)

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (Nvc) não devem exceder o valor máximo admissível (Nv), isto significa que:

$$Nvc < Nv$$

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nv) de uma fracção autónoma dependem da zona climática do local onde se situa o edifício, de acordo com a alínea 2 do artigo 15.º do RCCTE [2].

Para o edifício do caso de estudo, estando este situado na zona V_2 norte o valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento $Nv = 18 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$.

Como já foi referido no capítulo 3.2.4 os valores das necessidades nominais de aquecimento máximas (Nv) para o edifício em estudo encontra-se na folha de cálculo FCV.1g dos Anexos desta dissertação.

3.2.5 Cálculo das necessidades de energia para produção de AQS (Nac)

As necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (Nac) é o parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para aquecer o consumo médio anual de referência de águas quentes sanitárias a uma temperatura de 60°C, sendo calculadas através da seguinte expressão:

$$N_{ac} = \frac{\frac{Q_a}{\eta_a} - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \quad [kWh/m^2.ano] \quad (3.49)$$

em que:

Q_a – energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS [kWh/ano];

η_a – eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS a partir da fonte primária de energia;

E_{solar} – contribuição de sistemas colectores solares para o aquecimento de AQS;

E_{ren} – contribuição de quaisquer outras formas de energia renováveis (solar fotovoltaica, biomassa, eólica, geotérmica, etc.) para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais;

A_p – área útil de pavimento [m²].

A energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS durante um ano é dada pela seguinte expressão [2]:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000} \quad [kWh/ano] \quad (3.50)$$

em que:

M_{AQS} – consumo médio diário de referência de AQS. Nos edifícios residenciais, $M_{AQS} = 40 \times n.^{\circ}$ de ocupantes (Quadro VI.1 do RCCTE) ou nos edifícios de serviços $M_{AQS} = 100$ l/dia;

ΔT – aumento de temperatura necessário para preparar as AQS ($\Delta T = 45$ °C, considerando que a água da rede pública de abastecimento é disponibilizada a uma temperatura média anual de 15 °C e que deve ser aquecida à temperatura de 60 °C);

n_d – número anual de dias de consumo de AQS (Quadro VI.2 do RCCTE).

A eficiência de conversão do sistema de preparação das AQS (η_a) pode ser definida por valores do fabricante no caso de equipamentos certificados ou por valores de referência no

caso de equipamentos não certificados, podendo-se encontrar alguns desses valores de referência no RCCTE.

Caso não esteja definido em projecto o sistema de preparação de AQS deve-se assumir $\eta_a=0,50$ admitindo a existência de um esquentador a gás natural ou GPL ou então, considera-se $\eta_a=0,90$ considerando a existência de um termoacumulador eléctrico com 50mm de isolamento térmico em edifícios sem alimentação de gás, ou um esquentador a gás natural ou GPL. Os valores de η_a devem ser diminuídos de 0,10 se a rede de água quente interna à fracção não for isolada com o mínimo de 10mm de isolamento térmico.

A contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento da AQS (E_{solar}) deve ser efectuado recorrendo ao programa SOLTERM do INETI. Para efeitos do RCCTE, a contribuição de sistemas de colectores solares só pode ser contabilizada se os sistemas ou equipamentos forem certificados e houver a garantia de manutenção do sistema em funcionamento durante um período mínimo de seis anos após a instalação [2].

A contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis (E_{ren}) para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor, de equipamentos ou de fluídos residuais, deve ser calculada com base num método devidamente justificado e reconhecido e aceite pela entidade licenciadora.

O equipamento contabilizado para efeitos de cálculo no caso de estudo, foi considerado dois colectores Immosolar IS-PRO 2000 TINOX com área total de 3,70 m² com orientação a 45° de inclinação ao azimuth sul, um depósito de 300L e como apoio um termoacumulador a gás. Na folha de cálculo AQS nos Anexos, encontra-se o resultado das necessidades de energia para preparação de AQS para o caso de estudo.

3.2.6 Valores limites das necessidades de energia para produção das AQS (Na)

As necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (N_{ac}) não devem exceder o valor máximo admissível (N_a):

$$N_{ac} < N_a$$

O limite máximo para os valores das necessidades de energia para a preparação das águas quentes sanitárias (N_a) é definido pela seguinte equação [2]:

$$N_a = \frac{0,081 \cdot M_{AQS} \cdot nd}{A_p} \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (3.51)$$

em que:

M_{AQS} – consumo médio diário de referência de AQS. Nos edifícios residenciais, $MAQS = 40$ x n.º de ocupantes (Quadro VI.1 do RCCTE);

nd – número anual de dias de consumo de AQS. Depende do período convencional de utilização dos edifícios (Quadro VI.2 do RCCTE);

Ap – área útil de pavimento [m^2].

Na folha de cálculo necessidades energia nos Anexos, encontra-se o resultado do valor limite das necessidades de energia para preparação de AQS para o caso de estudo.

3.2.7 Necessidades de energia primária (Ntc)

Nas necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (Ntc), os factores de ponderação das necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de preparação de AQS têm em conta os padrões habituais de utilização dos respectivos sistemas, segundo a seguinte expressão:

$$N_{tc} = 0,1 \cdot \left(\frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) \cdot F_{pui} + 0,1 \cdot \left(\frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) \cdot F_{puv} + N_{ac} \cdot F_{pua} \quad [kgep/m^2 \cdot ano] \quad (3.52)$$

em que:

F_{pu} – factor de conversão de energia útil para energia primária [kgep/kWh];

η_i – eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento;

η_v – eficiência nominal dos equipamentos para arrefecimento.

Segundo o RCCTE os factores de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária são os seguintes:

- Electricidade: $F_{pu}=0,290$ kgep/kWh
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: $F_{pu}=0,086$ kgep/kWh

Os valores de referência do RCCTE para a eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento, sob condições normais de funcionamento, e caso não existam outros dados técnicos, são os seguintes:

- Resistência eléctrica – 1
- Caldeira a combustível gasoso – 0,87
- Caldeira a combustível líquido – 0,8
- Caldeira a combustível sólido – 0,6

- Bomba de calor (aquecimento) – 4
- Bomba de calor (arrefecimento) – 3
- Máquina frigorífica (ciclo de compressão) – 3
- Máquina frigorífica (ciclo de absorção) – 0,80

O RCCTE estabelece que caso no projecto, não esteja definido nenhum tipo de sistema de aquecimento, arrefecimento ou de aquecimento de AQS, considera-se para efeitos de cálculo de N_{tc} , que o sistema de aquecimento é obtido por resistência eléctrica, para arrefecimento, considera-se uma máquina frigorífica com eficiência (COP) 3 [2].

Para o caso de estudo foi considerado por defeito que o sistema de aquecimento é obtido por resistência eléctrica e para arrefecimento uma máquina frigorífica com COP de 3. Na folha de cálculo das necessidades energia nos Anexos, encontra-se o resultado das necessidades nominais globais de energia primária para o caso de estudo.

3.2.8 Valor máximo admissível de necessidades nominais globais de energia primária (N_t)

As necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}) não devem exceder o valor máximo admissível (N_t), isto significa que:

$$N_{tc} < N_t$$

O valor máximo admissível de necessidades nominais globais de energia primária (N_t), calculado com base nos valores de N_i , N_v e N_a e em fontes de energia convencionais, é dado pela seguinte expressão:

$$N_t = 0,9 \cdot (0,01 \cdot N_i + 0,01 \cdot N_v + 0,15 \cdot N_a) \quad [kgep/m^2 \cdot ano] \quad (3.53)$$

em que:

N_i – Valor limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento [$kWh/m^2 \cdot ano$];

N_v - Valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento [$kWh/m^2 \cdot ano$];

N_a - Valor limite das necessidades nominais de energia útil para preparação de AQS [$kWh/m^2 \cdot ano$];

Na folha de cálculo das necessidades energia nos Anexos, encontra-se o resultado do valor limite das necessidades nominais globais de energia primária para o caso de estudo.

3.2.9 Classe energética

Pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, todos os edifícios devem implementar um procedimento de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a eficiência energética dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos.

A certificação energética permite aos futuros utentes obter informação sobre os potenciais consumos de energia, no caso dos novos edifícios ou no caso de edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, dos seus consumos reais, passando o critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal do edifício, a integrar o conjunto dos demais aspectos importantes para a caracterização do edifício.

A classificação do edifício segue uma escala pré-definida de 9 classes (A+, A, B, B-, C, D, E, F e G), em que a classe A+ corresponde a um edifício com melhor desempenho energético, e a classe G corresponde a um edifício de pior desempenho energético, sendo calculado com recurso à seguinte expressão (figura 3.20):

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.54)$$


Em que:

N_{tc} – Necessidades globais de energia primária [kgep/m².ano];

N_t – Valor limite das necessidades nominais globais de energia primária [kgep/m².ano].

Embora o número de classes na escala seja o mesmo, os edifícios de habitação e de serviços têm indicadores e formas de classificação diferentes.

Nos edifícios novos (com pedido de licença de construção após entrada em vigor do SCE), as classes energéticas variam apenas entre as classes A+ e B- enquanto nos edifícios existentes podem ter qualquer classe.



Classe energética	$R = N_{tc}/N_t$
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 < R \leq 0,50$
B	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	$0,75 < R \leq 1,00$
C	$1,00 < R \leq 1,50$
D	$1,50 < R \leq 2,00$
E	$2,00 < R \leq 2,50$
F	$2,50 < R \leq 3,00$
G	$3,00 < R$

Figura 3.20 – Classe energética (Adene) [17]

Para o edifício em estudo, segundo a análise à luz do regulamento português a classe energética obtida foi B- conforme demonstra a seguinte expressão:

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{2,40}{2,77} = 0,87 \quad (3.55)$$

3.3 Análise segundo o CTE

A actual regulamentação espanhola sobre a eficiência energética nos edifícios enquadra-se no CTE (Código Técnico de la Edificación), que contém um documento básico de poupança de energia que engloba cinco secções. O objectivo deste documento é o de conseguir uma utilização racional da energia necessária para a utilização dos edifícios, a redução do consumo para limites sustentáveis e também garantir que algum desse consumo venha de fontes de energias renováveis.

O documento básico, denominado DB HE – Economia de Energia, especifica parâmetros, objectivos e procedimentos, que visam garantir a satisfação das necessidades básicas e os padrões mínimos de qualidade. Para atingir esse objectivo, os edifícios serão concebidos, construídos, operados e mantidos de forma a atender os requisitos básicos especificados nas cinco secções existentes.

Para o cálculo do certificado energético do edifício, deve ser cumprido o DB HE1 - Limitação das necessidades de energia.

É de seguida descrita a análise do edifício em estudo segundo o regulamento espanhol (CTE). O estudo envolveu o recurso a dois programas, o LIDER e o CALENER_VYP, que podem ser encontrados na página do CTE (www.codigotecnico.org). O que os programas fazem é comparar o edifício que é introduzido com um edifício de referência que cumpre os requisitos mínimos.

Como foi referido anteriormente, as soluções construtivas adoptadas nas duas análises (segundo o RCCTE e segundo o CTE) serão as mesmas, garantindo assim a comparabilidade dos dois edifícios à luz de regulamentos distintos. Apenas a sua localização, será necessariamente diferente, embora a sua proximidade geográfica seja de tal ordem que se poderá assumir que tal não afectará o rigor da comparação efectuada.

3.3.1 Limitações de necessidades energéticas (DB HE1)

Os objectivos DB HE1 são evitar o risco de crescimento de fungos nas superfícies interiores dos edifícios, controlar as condensações intersticiais dentro da envolvente térmica que causam uma diminuição das qualidades de isolamento ou de durabilidade, estabelecer um

mínimo de qualidade térmica para os edifícios, limitar a infiltração de ar e limitar o consumo de energia de edifícios para um valor aceitável.

O DB HE1 é aplicável na construção de edifícios novos, ou em modificações, alterações ou renovações de edifícios existentes com uma área útil superior a 1000 m², quando é renovado mais de 25% do seu espaço. Excluídos do âmbito de aplicação estão os edifícios que, pela sua natureza, devem permanecer abertos para a sua utilização, os edifícios e monumentos protegidos devido ao seu valor ambiental, arquitectónico ou histórico, onde o cumprimento desses requisitos poderia alterar o seu carácter ou aspecto. Também excluídos são os edifícios utilizados como locais de culto ou para actividades religiosas, os edifícios temporários, com um período previsto de utilização não superior a dois anos, instalações industriais, oficinas, edifícios não residenciais agrícolas e edifícios isolados com um espaço útil menor que 50 m².

Para a aplicação do DB HE1 deverá ser escolhido um dos dois métodos alternativos de verificação: a opção simplificada ou a opção geral.

A opção simplificada baseia-se no controlo indirecto da necessidade de energia nos edifícios, limitando parâmetros característicos da envolvente exterior e divisórias interiores que compõem a sua envolvente térmica. A verificação é feita por meio da comparação dos valores obtidos para o cálculo com os valores-limite permitido. Esta opção pode ser aplicada a obras de construção novas e reabilitação de edifícios existentes.

A opção geral, têm como base a avaliação da necessidade energética dos edifícios, comparando-a com uma situação de referência. Esta opção pode ser aplicada a todas as construções que satisfaçam os requisitos que serão expostos no ponto 3.3.5.1.

3.3.2 Zonas climáticas

Para a limitação das necessidades energéticas são consideradas 12 zonas climáticas identificadas por uma letra (A, B, C, e D), que corresponde à divisão do inverno, e um número (1, 2, 3 e 4) correspondente à divisão do verão. Em geral, a zona climática onde as construções estão localizadas, é determinada a partir de valores tabelados.

A zona climática de qualquer localidade é obtida a partir de uma tabela que se encontra no anexo D do DB HE1, esta pode ser ajustada em função da diferença de altura existente entre a localização do edifício e a altura de referência da localidade tabelada. No caso de estudo o município considerado foi o de Tui, que têm uma altitude de 48 metros e apresenta uma zona climática C1.

A determinação de zonas climáticas para localidades que dispõem de registos climáticos, obtém-se a partir do cálculo das severidades climáticas de inverno e de verão. Uma vez

obtidas as severidades climáticas, a zona climática é determinada de acordo com a figura 3.21.

SC (verano)	A4	B4	C4		E1
	A3	B3	C3	D3	
			C2	D2	
			C1	D1	
	SC (invierno)				

Figura 3.21 – Zonas climáticas (Anexo D do DB HE1) [3]

3.3.3 Requisitos e valores limite

As exigências energéticas dos edifícios são limitadas em função do clima do local onde se encontra o edifício. Os parâmetros característicos que definem a envolvente térmica do edifício são agrupados nas seguintes categorias:

- Transmissão térmica de paredes exteriores (U_M);
- Transmissão térmica da cobertura (U_C);
- Transmissão térmica de pavimentos (U_S);
- Transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno (U_T);
- Transmissão térmica dos vãos envidraçados (U_H);
- Factor solar modificado dos vãos envidraçados (F_H);
- Factor solar modificado de Clarabóias (F_L);
- Transmissão térmica de paredes em contacto com edifícios adjacentes (U_{MD}).

Dependendo da localização do edifício e de modo a evitar grandes diferenças de qualidade térmica entre divisões, quaisquer elementos das zonas pertencentes à envolvente interior e à envolvente exterior têm de ter um coeficiente de transmissão térmica não superior aos valores da tabela 2.1 do DB HE1 do CTE (Tabela 3.27):

Tabela 3.26 – Valores máximos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente do edifício

	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Paredes exteriores, paredes divisórias interiores em contacto com espaços não-habitável e paredes e pavimentos em contacto com o solo	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Pavimentos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Coberturas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidros e Caixilharia	5,70	5,70	4,4	3,50	3,10
Paredes divisórias	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

Em edifícios residenciais, as paredes divisórias interiores que delimitam espaços aquecidos de espaços não aquecidos, terão um coeficiente de transmissão térmica não superior a 1,2 W/m²K.

O HE1 DB impõe também limites para o coeficiente de transmissão térmica médio de cada um dos diferentes tipos de elementos: paredes exteriores, cobertura, pavimentos e paredes em contacto com o terreno. Tais valores médios são, grosso modo, entendidos como os valores dos coeficientes de transmissão térmica elementares ponderados pelas áreas dos elementos da construção. Estes valores estão resumidos na tabela 3.28.

Tabela 3.27 – Valores médios de coeficiente de transmissão térmica

	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Cobertura	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35
Paredes Exteriores	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57
Pavimentos	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48
Paredes em contacto com o terreno	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57

A transmissão térmica média dos elementos de construção é calculada através de uma média de pontos de acordo com as superfícies dos componentes de cada tipo de envolvente, incluindo o cálculo do impacto de pontes térmicas, conforme expressões da tabela 3.1 do regulamento.

Para o controlo de condensações superficiais nas paredes e nas pontes térmicas, deve verificar-se que o factor de temperatura superficial interior é superior ao factor de temperatura superficial interior mínimo. Este último pode ser obtido a partir de tabela 3.30,

dependendo do tipo de espaço e do local onde se encontra o edifício (tabela 3.29). O factor de temperatura superficial interior é o quociente entre a diferença de temperatura superficial interior e do ambiente exterior e a diferença entre a temperatura ambiente interior e exterior.

Tabela 3.28 – Classe Higrometria

Classe Higrometria	Descrição	Temperatura e humidade relativa de referência no interior
Higrometria 5	Espaços que proporcionam uma grande produção de humidade, como lavandarias e piscinas.	20 °C e 70%
Higrometria 4	Espaços que proporcionam alta produção de humidade, como cozinhas, restaurantes, pavilhões desportivos, chuveiros colectivos ou outros espaços semelhantes.	20 °C e 62%
Higrometria 3 ou inferior	Espaços que não prevêem uma alta produção de humidade. Incluídos nesta categoria estão todos os edifícios residenciais e outros espaços não mencionados anteriormente.	20 °C e 55%

Tabela 3.29 – Valor limite do factor de temperatura da superfície interior

Categoria do espaço	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Classe Higrometria 5	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Classe Higrometria 4	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Classe Higrometria 3 ou inferior	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

O requisito é cumprido se o factor de temperatura real da superfície interior for maior do que o factor de temperatura limite.

No caso dos vãos (envidraçados), o HE1 estabelece um duplo requisito: um valor limite para a transmissão térmica e um valor limite para o valor do factor solar do vão envidraçado, em função da zona climática (verão + inverno), da orientação do vão e da percentagem que representa esta abertura em relação a toda a fachada. A tabela 3.31 é um exemplo para a zona climática C1, todas as tabelas para as várias zonas climáticas encontram-se no HE1 DB.

Tabela 3.30 – Valores limite das características dos vãos envidraçados para a Zona C1

% Abertura dos vãos	Valor limite transmissão térmica U_{Hlim} (W/m ² K)				Valor limite factor solar F_{Hlim}					
					Carga interna baixa			Carga interna alta		
	N	E/W	S	SE/SW	E/W	S	SE/SW	E/W	S	SE/SW
De 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
De 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
De 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	-	-	-	-
De 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	-	-	-	0,56	-	0,60
De 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	-	-	-	0,47	-	0,52
De 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	-	-	-	0,42	-	0,46
Valor Limite factor solar das clarabóias F_{Lim}										
									0,37	

3.3.4 Opção simplificada

A opção simplificada consegue atingir os objectivos do HE1 DB limitando as necessidades energéticas dos edifícios de forma indirecta, através da fixação de valores-limite nomeadamente nos parâmetros de coeficientes de transmissão térmica e factor solar. Também limita a presença de condensações nas superfícies e no interior dos compartimentos para as condições ambientais estabelecidos no HE1 DB. Para além das limitações anteriormente descritas, também limita as infiltrações de ar nos vãos envidraçados e clarabóias e a transferência de calor entre os espaços aquecidos e espaços não aquecidos no caso dos edifícios residenciais. Em suma a opção simplificada impõem valores limite para os diversos factores como forma de verificação das exigências do HE1 DB.

3.3.4.1 Campo de aplicação

Pode-se aplicar a opção simplificada quando se cumprem em simultâneo as seguintes condições: a superfície dos vãos envidraçados em cada fachada é inferior a 60% do total da superfície da fachada; a superfície das clarabóias é inferior a 5% da superfície total da cobertura.

Excepcionalmente admitem-se superfícies de vãos envidraçados superiores a 60% em fachadas que apresentam uma área em percentagem inferior a 10% da área total das fachadas do edifício.

Não se aplica esta opção aos edifícios que apresentam soluções construtivas "não-tradicionais" (as construções tradicionais são aqueles que podem ser caracterizados

simplesmente por transmissão térmica e factor solar). No caso de obras de reabilitação a opção simplificada só se aplicará aos espaços novos.

3.3.4.2 Envolvente

A envolvente térmica do edifício, como se mostra na figura 3.22, é composta por todos os elementos que limitam os espaços com o ambiente exterior (ar, solo ou outro edifício), e todas as fronteiras interiores, que limitam espaços habitados de espaços não habitados, que por sua vez estão em contacto com o ambiente exterior.

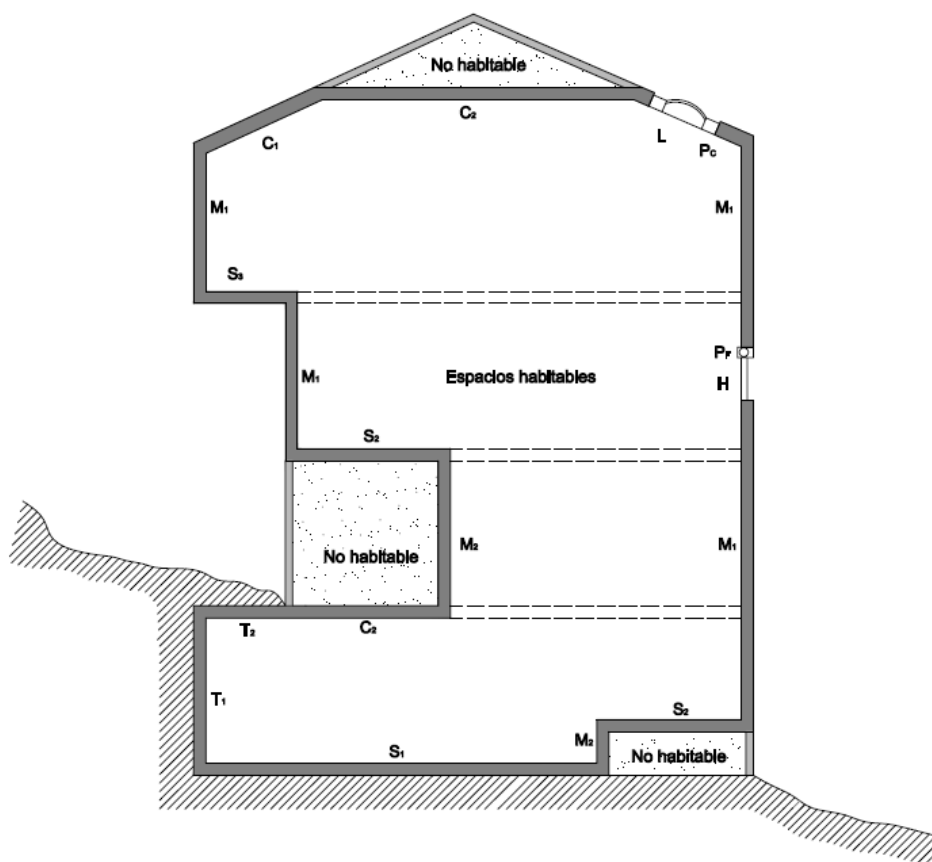


Figura 3.22 – Esquema da envolvente térmica de um edifício [3]

Espaço habitado é um espaço interior destinado ao uso por pessoas cuja densidade de ocupação e tempo de residência exigem condições acústicas, térmicas e de saneamento adequados, como é o caso de moradias, escritórios e bibliotecas, entre outros. O espaço não habitado é um compartimento interior que não está destinado a uso permanente por pessoas, sendo ocupado ocasionalmente e por um curto espaço de tempo, apenas requerendo condições de salubridade adequadas. Nesta categoria estão incluídos as garagens, armazéns, espaços técnicos, sótãos não habitados e zonas comuns.

3.3.4.3 Cálculo e processo de verificação

Verificação do factor de temperatura mínima superficial

As condensações superficiais devem ser verificadas, sendo esta verificação aplicada a todas as superfícies sob o risco de condensações, incluindo todas as superfícies dos compartimentos, principalmente as pontes térmicas que possam existir no edifício, calculando os factores de temperatura superficial interior e comparando os valores com os limites impostos na tabela 3.30.

Verificação de transmissão térmica máxima

Devem ser comparados os valores dos coeficientes de transmissão térmica de projecto com os valores limite (tabela 3.27), para todos os tipos de elementos (não incluindo as pontes térmicas).

Para elementos em contacto com espaços não habitados, considera-se um factor de redução “b”:

$$U_{proj} = U \times b \leq U_{lim} \quad [W/m^2.K] \quad (3.57)$$

em que:

U_{proj} – Coeficiente de transmissão térmica de projecto [$W/m^2.K$];

U – Coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2.K$];

U_{lim} – Coeficiente de transmissão térmica limite [$W/m^2.K$];

b – factor de redução.

Verificação dos valores médios de transmissão térmica

A fim de limitar indirectamente as necessidades energéticas dos edifícios, a opção simplificada requer que, para além de verificar o risco de formação de condensações e os valores-limite impostas para os diversos elementos, cada elemento do edifício deva respeitar um valor de transmissão térmica médio considerando o impacto das pontes térmicas e dos elementos em contacto com as áreas não residenciais.

O processo de verificação consiste em verificar se a transmissão térmica média para cada elemento é inferior ao valor limite imposto (tabela 3.28). Devem ter-se em consideração as orientações dos elementos verticais e calcular o valor médio para cada uma das orientações (figura 3.23). São considerados elementos verticais, todos os elementos com inclinação superior a 60° .

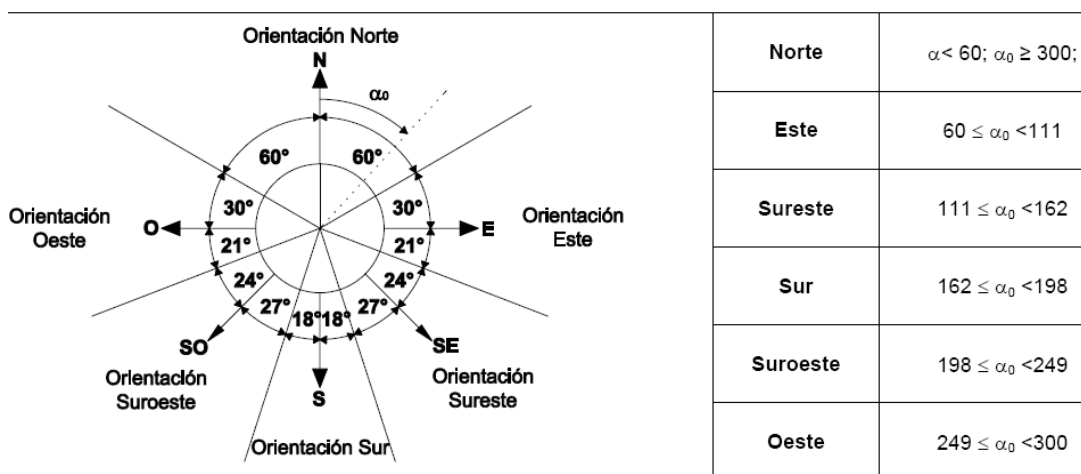


Figura 3.23 – Orientação das fachadas

Verificação de valores médios para os vãos envidraçados

Tal como na situação anterior, deve ser calculado o coeficiente de transmissão térmica para os vãos envidraçados de acordo com a orientação do vão, sendo o seu cálculo feito segundo a seguinte expressão:

$$U_{medio} = (1 - F_{caixilho}) \times U_{vidro} + F_{caixilho} \times U_{caixilho} \quad [W/m^2.K] \quad (3.58)$$

em que:

$F_{caixilho}$ – É a percentagem de área do caixilho, em relação à área total do vão;

U_{vidro} – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [$W/m^2.K$];

$U_{caixilho}$ – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [$W/m^2.K$].

Para calcular o factor solar para os vãos envidraçados, é utilizada a seguinte fórmula:

$$F_H = F_S[(1 - F_{caixilho}) \times g + F_{caixilho} \times 0,04 \times U_{caixilho} \times \alpha] \quad (3.59)$$

em que:

F_H – Factor solar vão envidraçado;

F_S – Factor de sombreamento (tabela E.11 e tabela E.15 do regulamento CTE HE1);

g – Factor solar do vidro;

α – Coeficiente de absorção (tabela E.10 do regulamento CTE HE1);

$U_{caixilho}$ – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [$W/m^2.K$].

O valor do coeficiente de transmissão térmica média para os vãos envidraçados (para cada orientação) e o factor solar para cada vão devem ser menores do que o limite imposto no regulamento CTE HE1 (tabela 3.31).

Em suma, podem-se verificar na tabela 3.32 os principais requisitos para a verificação de um projecto usando a opção simplificada:

Tabela 3.31 – Requisitos para verificação – Opção simplificada

Objectivo	Verificação	Opção Simplificada
Evitar o risco de crescimento de fungos	$F_{Rsi;proj} > f_{Rsi;lim}$	Deve ser verificado
Limitar as necessidades energéticas	$U < U_{max}$	Deve ser verificado
	$U_{medio} < U_{lim}$	Deve ser verificado
	$F_H < F_{Hlim}$	Deve ser verificado
	Necessidades energéticas do projecto < Necessidades energéticas de referência	Apenas é limitado, não é calculado

3.3.5 Opção geral

A opção geral tem os mesmos objectivos que a opção simplificada, a grande diferença é que a opção geral calcula as necessidades energéticas do edifício de uma forma directa através de um programa de cálculo, denominado LIDER.

3.3.5.1 Campo de aplicação

A opção geral deve ser aplicada quando o edifício não cumprir as condições de aplicação da opção simplificada. Isto significa que quando o edifício não verifica uma das condições do campo de aplicação da opção simplificada, terá de ser aplicada a opção geral.

No entanto, mesmo que o edifício cumpra os requisitos da opção simplificada, pode ser utilizada a opção geral. A única limitação da opção geral é no caso de soluções construtivas inovadoras, que não seja possível introduzir no programa de cálculo.

3.3.5.2 Cálculo e processo de verificação

A opção geral, utiliza um programa de cálculo automático denominado LIDER, que pode ser descarregado da página oficial do CTE (www.codigotecnico.org) sem qualquer tipo de custo. O LIDER calcula as necessidades energéticas para o edifício em estudo.

O cálculo das necessidades energéticas na opção geral, é concretizado através da comparação das necessidades energéticas do edifício em estudo com um edifício de referência. Esse edifício de referência é idêntico em termos de localização, geometria, utilização, etc., mas em termos térmicos definido consoante os valores limite da opção simplificada. Assim sendo, os valores utilizados para o cálculo do edifício de referência são os indicados nas tabelas 3.28 e 3.31.

Em suma, na tabela 3.33 apresentam-se os principais requisitos para a verificação de um projecto usando a opção geral e a opção simplificada.

Tabela 3.32 – Requisitos para verificação – Opção geral

Objectivo	Verificação	Opção Simplificada	Opção Geral
Evitar o risco de crescimento de fungos	$F_{Rsi;proj} > f_{Rsi;lim}$	Deve ser verificado	Deve ser verificado
Limitar as necessidades energéticas	$U < U_{max}$	Deve ser verificado	Deve ser verificado
	$U_{medio} < U_{lim}$	Deve ser verificado	Valores do edifício de referência
	$F_H < F_{Hlim}$	Deve ser verificado	Valores do edifício de referência
	Necessidades energéticas do projecto < Necessidades energéticas de referência	Apenas é limitado, não é calculado	Deve ser verificado

3.3.5.3 Resumo do manual LIDER

O manual do programa LIDER pode ser encontrado na página oficial do CTE. O LIDER permite uma visualização tridimensional do edifício à medida que o vamos construindo. A descrição que se segue relativa à aplicação do software LIDER tem por base o caso de estudo.

Parâmetros do edifício

Para iniciar um novo projecto, encontra-se no canto superior esquerdo o ícone “novo”. Após iniciar um novo projecto, têm de se introduzir diversos parâmetros do edifício, como informação geográfica, orientação, tipo de edificio, classe dos espaços habitados, renovação de ar, nome do projecto, morada e autor do projecto, como indicado na figura 3.24.

The screenshot displays the LIDER software interface with a menu bar at the top containing options: Nuevo, Abrir, Guardar, Descripción, BD, Opciones, 3D, Calcular, Resultados, PDF, GD, Exportar, Ayuda, and Acerca. The main window is divided into several sections:

- Zonificación climática:** Includes dropdowns for 'Zona' (set to C1) and 'Localidad' (set to Pontevedra), and input fields for 'Latitud' (42.43) and 'Altitud' (19.00).
- Orientación del edificio:** Features an 'Ángulo' input field (0.00) and a diagram showing the building's orientation relative to the cardinal directions (N, S, E, O) and axes (X, Y).
- Tipo edificio:** Contains three radio buttons: 'Vivienda unifamiliar' (selected), 'Vivienda en bloque', and 'Edificio sector terciario'.
- Clase por defecto de los espacios habitables:** Includes a 'Tipo de Uso' dropdown (set to Residencial) and a section for 'Condiciones: higrometría' with three radio buttons: 'Clase 3 o inferior' (selected), 'Clase 4', and 'Clase 5'.
- Datos del Proyecto:** A form with input fields for 'Nombre del proyecto' (Tese Mestrado), 'Comunidad', 'Localidad', and 'Dirección'.
- Datos del Autor:** A form with input fields for 'Nombre' (Bruno Pereira), 'Empresa o Institución' (ESTG - IPVC), 'E-mail', and 'Teléfono'.

At the bottom of the interface, there is a field for 'Número de renovaciones hora requerido' set to 1.0.

Figura 3.24 – Formulário de descrição do LIDER

Materiais, produtos e elementos construtivos do edifício

No LIDER podemos ter quatro tipos de base de dados: a base de dados do programa, a base de dados do edifício, a base de dados do utilizador ou outro tipo de base de dados compatível com o programa. No caso da base de dados do programa estão incorporadas uma grande variedade de materiais e produtos, suficientes para definir a maior parte dos elementos construtivos de qualquer edifício. A base de dados do utilizador, é definida pelo utilizador, que pode definir os seus materiais, produtos e elementos construtivos, tendo para isso necessidade de introduzir as propriedades dos materiais. Para os elementos opacos, será necessário introduzir a densidade, calor específico, condutibilidade térmica, resistência térmica e coeficiente de resistência á difusão do vapor de água (figura 3.25). Para vãos envidraçados, as propriedades a introduzir são o coeficiente de transmissão térmica e o factor solar, como indicado na figura 3.26.

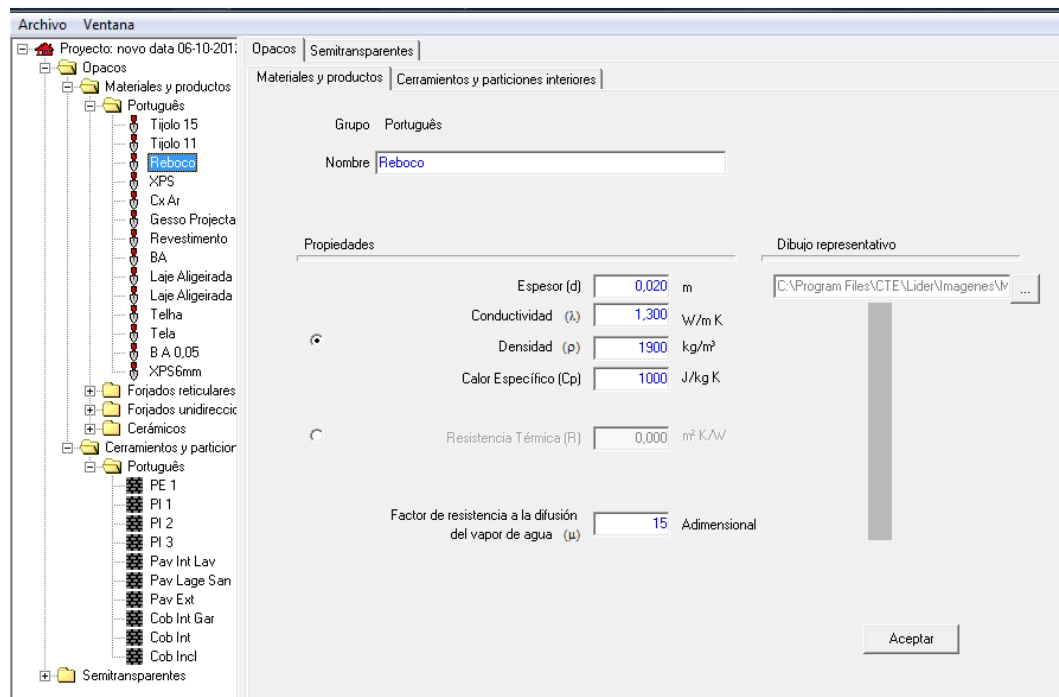


Figura 3.25 – Base de dados do caso de estudo (elementos opacos)

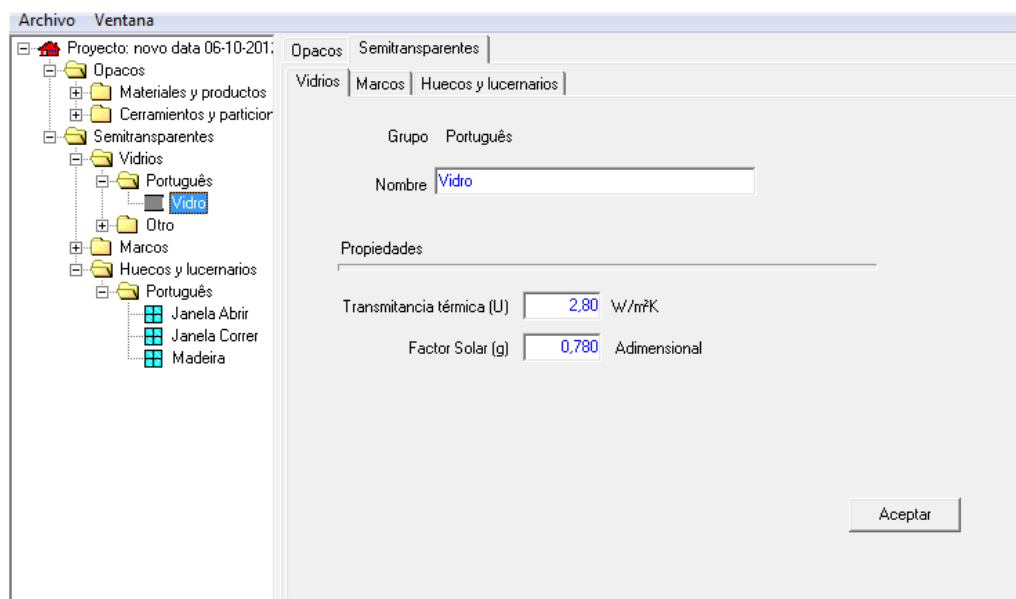


Figura 3.26 – Base de dados do caso de estudo (vãos envidraçados)

Após a definição dos materiais a utilizar, estes podem-se agrupar para formar os elementos de construção, como paredes, pavimentos, caixilharia, cobertura, etc. como podemos ver na figura 3.27. Todos os elementos ou materiais criados podem ser utilizados em projectos futuros.

Archivo Ventana

Proyecto: novo data 06-10-2011

Opacos Semitransparentes

Materiales y productos Cerramientos y particiones interiores

Grupo Portugués

Nombre PE 1

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Reboco	0,020	1,300	1900	1000	
2	Tijolo 15					0,390
3	Cx Ar					0,180
4	XPS	0,040	0,037	33	1000	
5	Tijolo 11					0,270
6	Gesso Projectado	0,020	0,300	750	1000	
7						

Grupo Material Portugués

Material Reboco

Espesor (m) 0,020

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 0,46 W/(m²K)

Aceptar

Figura 3.27 – Exemplo da constituição da parede exterior PE

As pontes térmicas lineares são, por sua vez, definidas caso a caso em menu específico (figura 3.28).

Forjados Cerramiento vertical Contacto terreno

Encuentro forjado-fachada

Interior Exterior Interior

Nombre F2C

Ψ 0,24 W/(mK)

f 0,75

Encuentro suelo exterior-fachada

Interior Forjado Exterior

Nombre R2EEC

Ψ 0,69 W/(mK)

f 0,71

Encuentro cubierta-fachada

Exterior Forjado Interior

Nombre R2C

Ψ 0,68 W/(mK)

f 0,71

Figura 3.28 – Catálogo das pontes térmicas

Espaço de trabalho

No menu opções podemos alterar o espaço de trabalho. Este espaço é um retângulo de terreno sobre o qual vamos implantar o edifício em 3D. Nesse menu podem-se alterar as dimensões do espaço assim como a cor, como podemos verificar na figura 3.29.

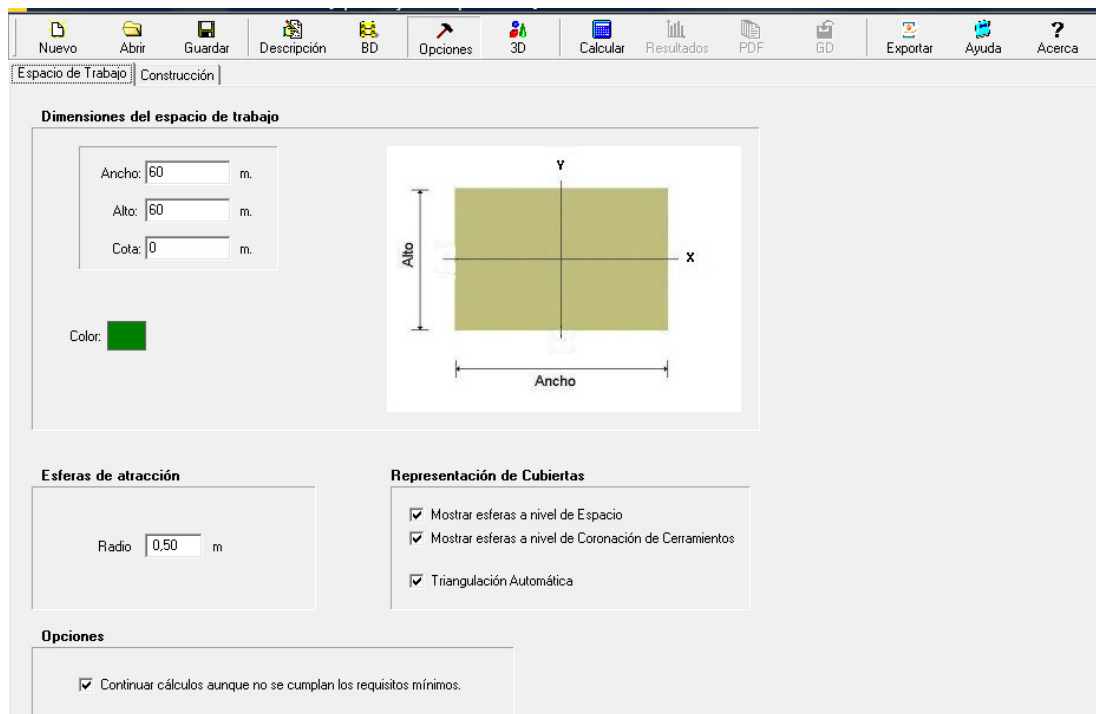


Figura 3.29 – Espaço de trabalho LIDER

Geometria do edifício

A geometria do edifício pode ser introduzida de duas formas. Uma das formas é importar a planta do edifício em formato AutoCAD e depois desenhar sobre essa base. Esta forma torna-se um pouco precisa. A outra forma é mais precisa, pois recorre à introdução de coordenadas (figura 3.30).

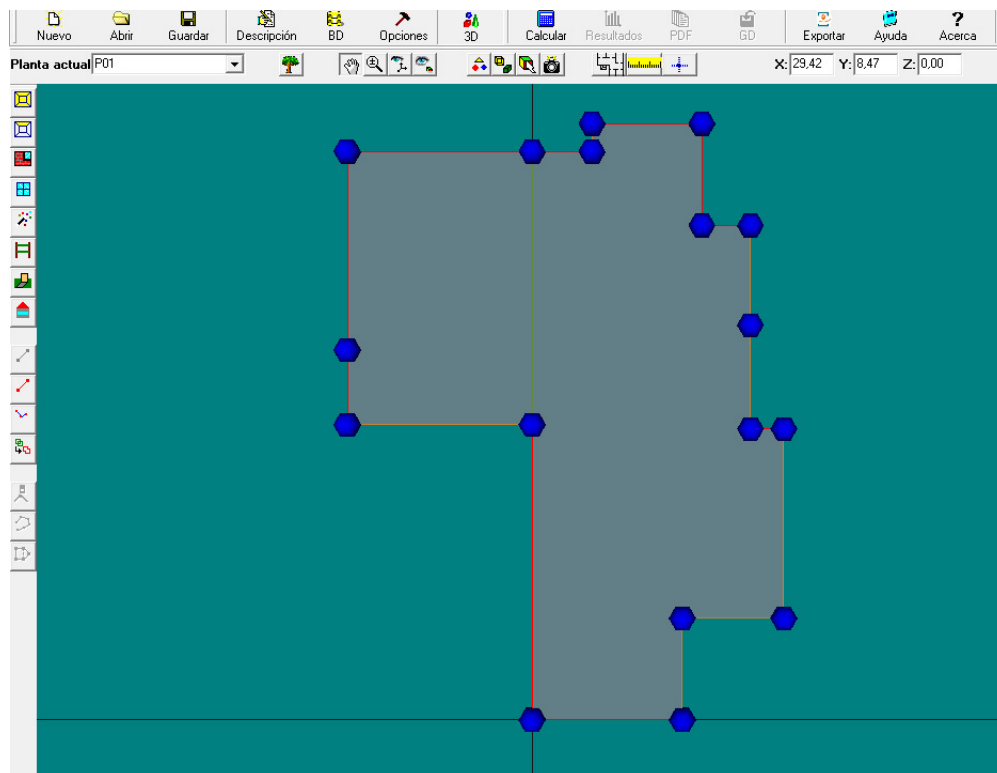


Figura 3.30 – Implantação do edifício do caso de estudo

Após a implantação, criamos as paredes exteriores. Depois disso desenhamos as paredes divisórias, as janelas e as portas, como podemos ver na figura 3.31. Para isso utilizamos os comandos “criar janelas” e “dividir espaços” que se encontram na barra do lado esquerdo do programa.

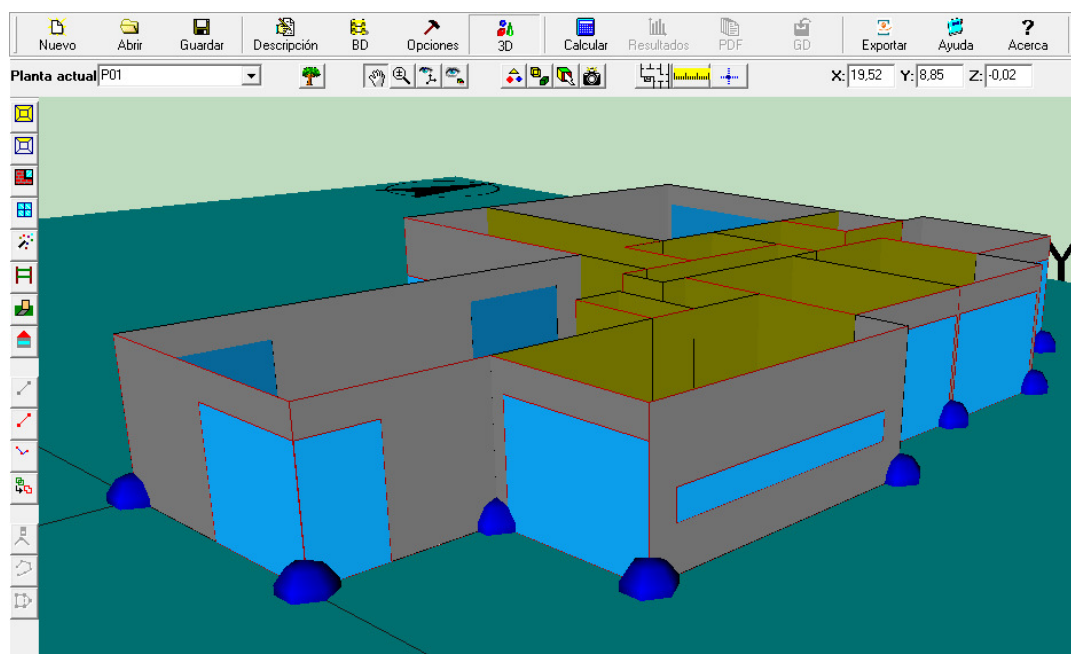


Figura 3.31 – Planta tridimensional do rés-do-chão do caso de estudo

Foi igualmente criada uma planta para o primeiro andar, tal como para o rés-do-chão. O passo seguinte consiste em introduzir a cobertura, que no caso de estudo é inclinada (figura 3.32). Para isso tem de se utilizar o comando linha auxiliar 3D, que se encontra na barra do lado esquerdo do programa. No final temos de introduzir as sombras (palas ou muros) existentes no edifício.

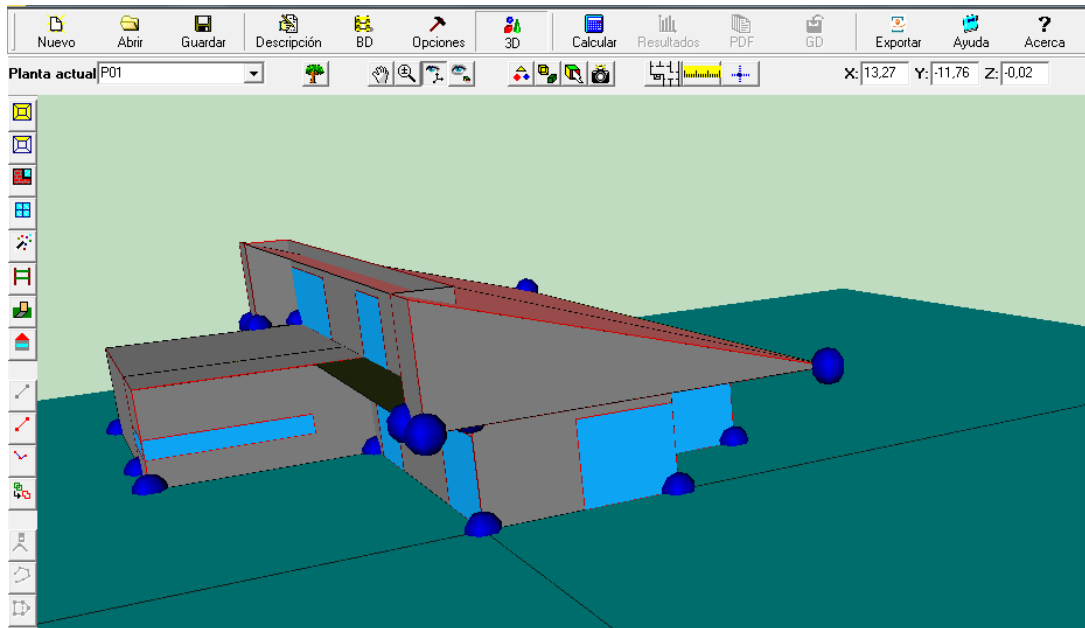


Figura 3.32 – Edifício do caso de estudo

Cálculo e resultados

Após a realização dos passos anteriormente descritos, será a altura de realizar os cálculos e verificações. Para isso basta carregar no ícone “calcular” da barra colocada na parte superior do programa. Caso o edifício apresente algum elemento que não esteja de acordo com os requisitos mínimos, o cálculo é cancelado e aparecerá uma janela a indicar a que elemento se refere. Se verificar todos os requisitos mínimos, o cálculo será realizado e aparecerá uma janela com os resultados, como apresentado na figura 3.33.

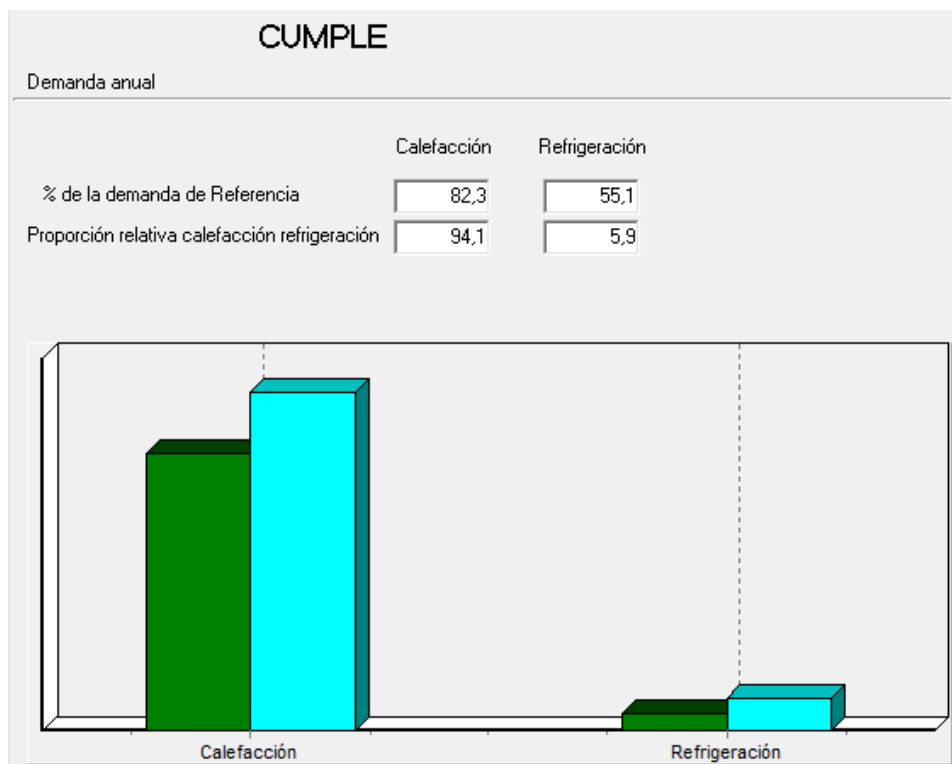


Figura 3.33 – Resultados do edifício em estudo no programa LIDER

Os resultados obtidos pelo programa LIDER são dados em percentagem das necessidades de referência do aquecimento e do arrefecimento em relação ao edifício de referência. Este programa não nos dá a classificação energética. Para isso temos de utilizar outro programa (CALENER VYP).

No final podemos imprimir os resultados em detalhe carregando no ícone “pdf”. Aparecerá um ficheiro em formato pdf com descrição do projecto, resultados e descrição geométrica e construtiva do edifício.

3.3.6 Classe energética

Após o cálculo do edifício através do programa LIDER e verificação dos requisitos exigidos no DB HE1, e para a determinação da classe energética, utilizou-se o programa CALENER VYP. Este apresenta a classificação energética numa escala de A a G, sendo o A o mais eficiente e o G o menos eficiente.

No caso de se efectuar o cálculo pelo método simplificado, que não foi o caso neste caso de estudo, não se recorreria a nenhum software e a classificação atribuída era automaticamente E, com a possibilidade de melhoria para D caso fossem observados determinados requisitos. Hoje em dia, já é possível obter qualquer classificação de energia, sem recurso à opção geral, pelo método “procedimiento simplificado para la certificación de eficiencia energetica de edificios de vivienda CE2”.

O programa CALENER permite-nos abrir o ficheiro LIDER e a partir daí trabalhar no projecto, adicionando sistemas e equipamentos do edifício, de modo a atribuir uma classificação de desempenho energético.

Para introduzir os sistemas e equipamentos no programa, carrega-se no ícone “sistema”. Depois tem que se introduzir as necessidades de águas quentes sanitárias. Para isso, tem de se indicar a área habitada coberta do edifício. O próximo passo consiste na introdução dos equipamentos para arrefecimento, com indicação da capacidade de refrigeração nominal (em kW), entre outros.

Também são escolhidos os equipamentos para aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias (acumulador de água quente). Estes equipamentos são introduzidos no menu “equipamentos” (Figura 3.34).

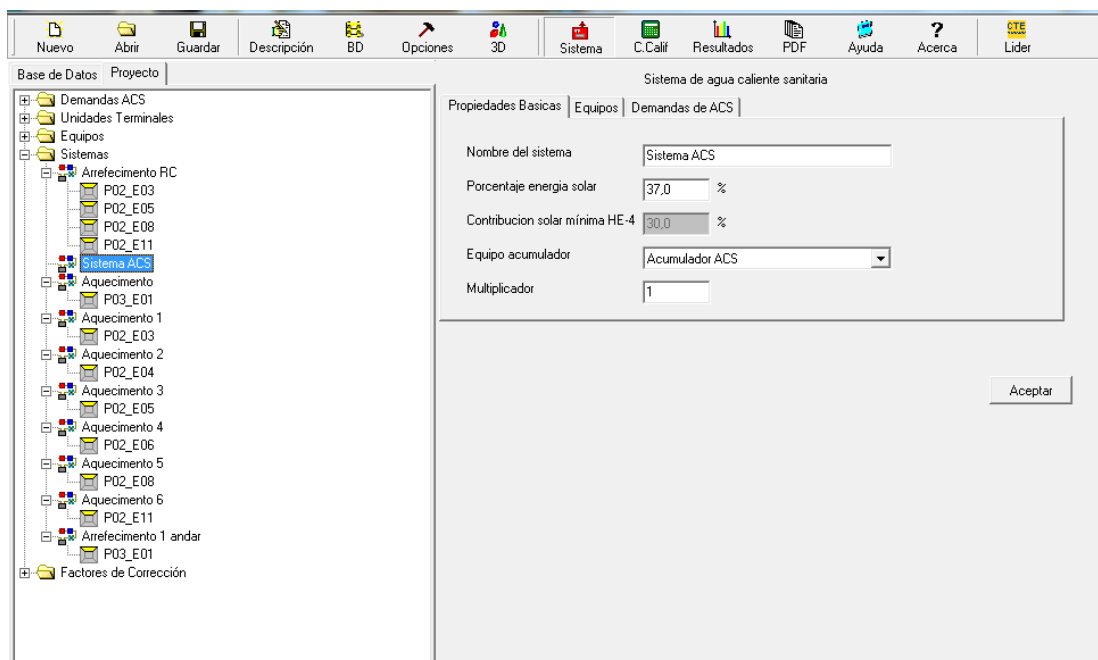


Figura 3.34 – Equipamentos do edifício em estudo no programa CALENER VYP

Após a introdução dos sistemas, procedeu-se ao cálculo da classe energética. No caso em estudo, a classe obtida foi a D (Figura 3.35 e 3.36).

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO ₂ /m ²	Edificio Objeto			Edificio Referencia		
<6,6 A						
6,6-10,7 B						
10,7-16,7 C						
16,7-25,7 D	21,2 D			23,6 D		
>25,7 E						
	Clase	kWh/m ²	kWh/año	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Demanda calefacción	D	43,8	16576,9	D	53,2	20134,5
Demanda refrigeración	-	-	-	-	-	-
	Clase	kgCO ₂ /m ²	kgCO ₂ /año	Clase	kgCO ₂ /m ²	kgCO ₂ /año
Emisiones CO ₂ calefacción	D	16,3	6169,0	D	17,0	6434,0
Emisiones CO ₂ refrigeración	-	-	-	-	-	-
Emisiones CO ₂ ACS	C	3,8	1438,2	D	4,7	1778,8
Emisiones CO ₂ totales			8023,5			8931,9

Figura 3.35 – Classificação energética através do CALENER VYP

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
Demandas	kWh/m ²	kWh/año	kWh/m ²	kWh/año
Calefacción	43,8	16576,9	53,2	20134,5
Refrigeración	2,8	1059,7	5,0	1892,3

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
Consumos Energía Final	kWh/m ²	kWh/año	kWh/m ²	kWh/año
Calefacción	27,5	10411,1	71,2	26929,1
Refrigeración	1,7	656,8	3,0	1116,8
ACS	18,9	7141,6	22,3	8425,8
Total	48,1	18209,6	96,4	36471,7

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
Consumos Energía Primaria	kWh/m ²	kWh/año	kWh/m ²	kWh/año
Calefacción	65,1	24630,3	77,2	29215,1
Refrigeración	4,5	1709,7	7,8	2961,9
ACS	19,1	7220,2	19,5	7393,4
Total	88,7	33560,2	104,6	39570,4

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
Emisiones	kgCO ₂ /m ²	kgCO ₂ /año	kgCO ₂ /m ²	kgCO ₂ /año
Calefacción	16,3	6169,0	17,0	6434,0
Refrigeración	1,1	416,3	1,9	719,1
ACS	3,8	1438,2	4,7	1778,8
Total	21,2	8023,5	23,6	8931,9

Figura 3.36 – Resultados detallados através do CALENER VYP

4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DOS DOIS REGULAMENTOS (RCCTE E CTE)

4.1 Coeficientes de transmissão térmica

Os coeficientes de transmissão térmica dos diversos elementos utilizados no caso de estudo segundo o regulamento português e o regulamento espanhol foram os mesmos. Existem no entanto diferença entre os valores limite impostos no regulamento português e no espanhol, conforme está representado na tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Valores limite do RCCTE e CTE

Elemento	RCCTE	CTE
Paredes Exteriores	1,60	0,95
Pavimentos Exteriores	1,00	0,65
Cobertura	1,00	0,53
Paredes Interiores em contacto com espaços não úteis	1,30	0,95

Como se pode verificar, o regulamento espanhol (CTE), apresenta valores limite mais apertados do que o RCCTE, sendo as maiores diferenças percentuais observáveis no caso das paredes exteriores, pavimentos exteriores e cobertura. Neste último caso o CTE obriga à observância de quase metade do valor do RCCTE.

4.2 Necessidades de energia de aquecimento

Feitos os dos cálculos pelo modo de opção geral do regulamento espanhol com recurso ao software LIDER, obteve-se uma percentagem das necessidades de aquecimento relativamente ao edifício de referência de 82,30%.

Admitindo uma lógica idêntica no caso do RCCTE, e de modo a ser obtida a comparabilidade desejada, calculou-se a percentagem das necessidades de aquecimento de cálculo (N_{ic}) em relação ao valor limite (N_i), mediante a seguinte expressão:

$$\% \text{ energia aquecimento} = \frac{N_{ic} \times 100}{N_i} = 69,08 \% \quad (4.1)$$

Na figura 4.1 está representado o resultado obtido pela utilização dos dois regulamentos tendo por bitola o edifício de referência (ou o valor limite), para o caso das necessidades de aquecimento.

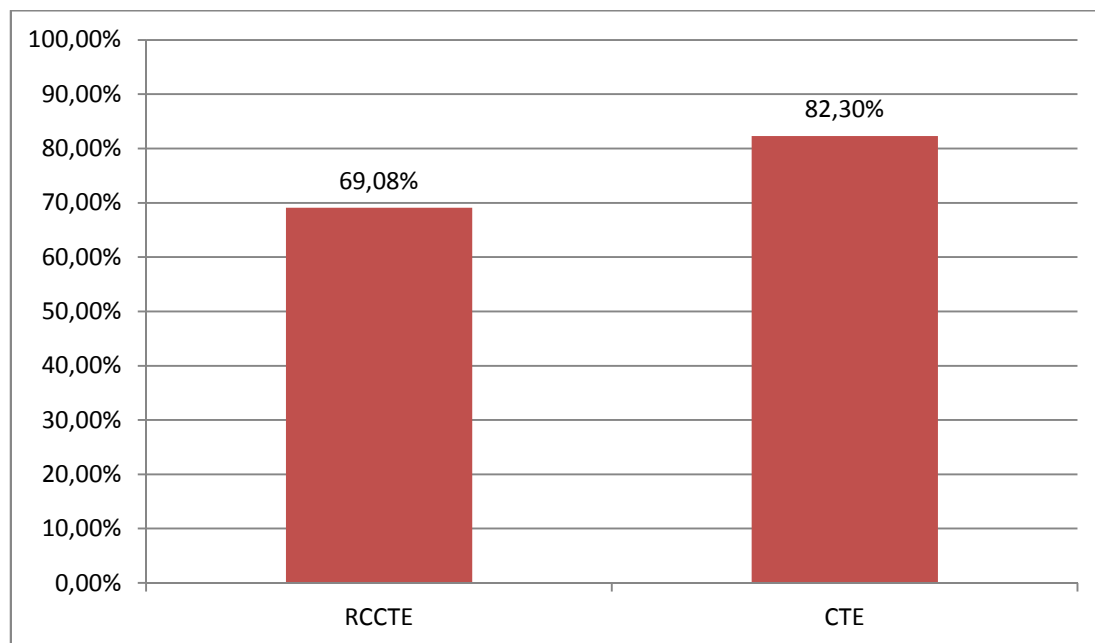


Figura 4.1 – Comparação de resultados do RCCTE e CTE para aquecimento

Pode-se concluir que o CTE apresenta uma maior exigência no que toca às necessidades de aquecimento, já que estas se situam num valor de 82,30%, contra 69,08% do RCCTE, isto é, o valor do CTE está mais próximo do valor limite do que no caso do RCCTE.

4.3 Necessidades de energia de arrefecimento

Na análise do caso de estudo segundo o regulamento espanhol para a estação de arrefecimento, obteve-se, em comparação com o edifício de referência, um valor de 55,10%. Procedendo-se da mesma forma como anteriormente para o aquecimento, para o regulamento português foi obtido o seguinte valor:

$$\% \text{ energia arrefecimento} = \frac{N_{vc} \times 100}{N_v} = 16,56 \% \quad (4.2)$$

Na figura 4.2 está representado o resultado obtido para a situação das necessidades de arrefecimento, no caso dos dois regulamentos, RCCTE e CTE. Mais uma vez se verifica uma

maior exigência do CTE em relação ao RCCTE, pois mais uma vez o valor do CTE está mais próximo do valor limite do que no caso do RCCTE.

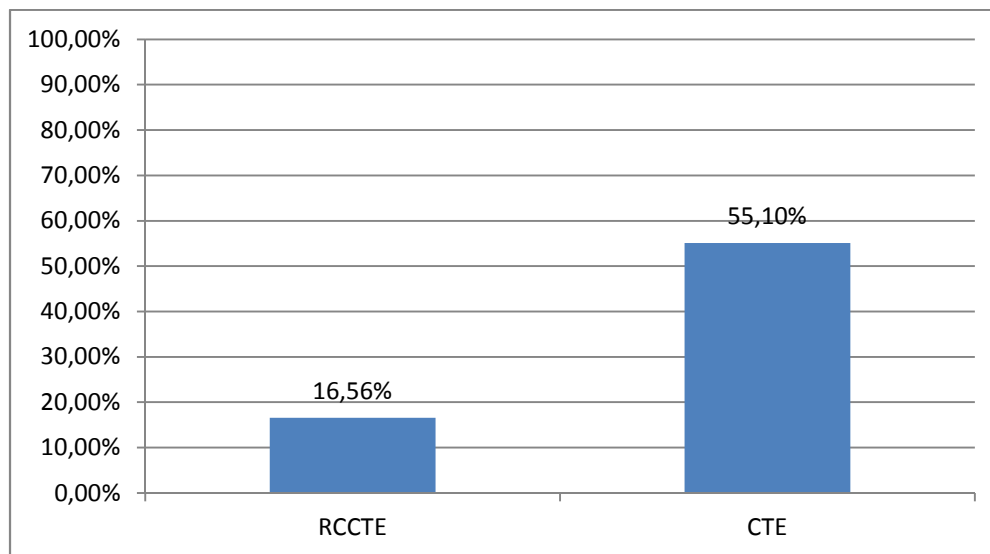


Figura 4.2 – Comparação de resultados do RCCTE e CTE para arrefecimento

4.4 Classificação energética

Uma vez aplicados ambos os regulamentos (RCCTE e CTE) para o caso de estudo, foi obtida uma classificação da classe B- no caso do RCCTE e da classe D no caso do CTE, como está representado na figura 3.20 e 3.35 respectivamente.

Para efeitos de cálculo, foram utilizados os mesmos equipamentos em ambas as verificações regulamentares, de modo a garantir a comparabilidade dos resultados. Podemos concluir que nos dois casos a classe obtida foi a classe mínima possível, que no caso português é a B- e no caso espanhol é a D.

É importante referir que o regulamento espanhol qualifica a construção de acordo com o desempenho ao nível de $[KgCO_2/m^2.ano]$ enquanto a regulamentação portuguesa usa o indicador R, que é a relação entre as necessidades globais de energia primária, em $[Kgpe/m^2.ano]$, e o seu valor-limite, também em $[Kgpe/m^2.ano]$.

Para comparar os resultados, convertem-se os resultados obtidos através do CALENER VYP para a escala usada no RCCTE, através da seguinte expressão:

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{21,2 [KgCO_2/m^2]}{23,6 [KgCO_2/m^2]} = 0,90 \quad (4.3)$$

O valor obtido, traduzido para a escala do RCCTE, faz com que seja atribuída uma classe B-, o que significa que a classificação na escala do regulamento espanhol (D) é equivalente à obtida no caso português.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões

Nesta dissertação foi elaborado um estudo de comparação de resultados de dois regulamentos de comportamento térmico de edifícios de dois países: Espanha e Portugal. O regulamento português é o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o regulamento espanhol o Código Técnico de Edificación (CTE – HE 1).

Para o estudo, e para garantir a comparabilidade de resultados, nomeadamente em termos climáticos, foi utilizado um edifício idêntico, localizado em aglomerados similares e contíguos, mas situados em lados diferentes da fronteira em Valença (Portugal) e Tui (Espanha). Em ambos os casos foram garantidos iguais volumetria, orientação e altitude, elementos e sistemas de construção e equipamentos.

Os métodos de verificação são distintos para os dois regulamentos. Enquanto o regulamento português calcula as necessidades energéticas do edifício (aquecimento, arrefecimento, AQS e energia primária) e posteriormente os compara com os correspondentes valores limite, o método espanhol, na sua opção geral, faz uma simulação do desempenho térmico do edifício introduzido no programa LIDER face a um edifício de referência, em tudo similar, mas utilizando elementos de construção e equipamentos padrão.

Foi possível verificar que os valores limite dos coeficientes de transmissão térmica, do regulamento espanhol são mais rigoroso do que os prescritos pelo RCCTE, neste caso de estudo, sendo que para uma avaliação mais rigorosa, ter-se-ia que testar adicionalmente um edifício multifamiliar e um edifício de serviços.

Os resultados obtidos face aos valores limite ou de referência (casos português e espanhol, respectivamente) revelam grosso modo uma maior exigência do CTE face ao RCCTE e no primeiro caso os valores obtidos aproximam-se mais significativamente dos limites/referência.

No entanto, e embora a classificação energética final obtida apresente uma notação diferente (B- e D para os casos português e espanhol, respectivamente), verifica-se que tal classificação se situa exactamente na mesma posição hierárquica, quarta classificação da escala e limite inferior admissível para construções novas.

Resta salientar que o output dos resultados se afigura mais detalhado e inteligível no caso português, se bem que o processo de cálculo se nos afigura mais rápido no caso espanhol.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Alguns pontos poderão ser considerados em termos de desenvolvimentos futuros deste trabalho.

Um primeiro visaria a aplicação de um estudo similar a outros países com clima idêntico. Um segundo poderia abordar a elaboração de um sistema de classes de certificação energética idêntico em todos os países. Um terceiro ponto que poderá ser objecto de trabalho futuro diz respeito à comparação das condições de utilização que cada um dos regulamentos nacionais estabelece para cada país, percebendo-se desde já que neste caso particular se verificam diferenças entre os casos em estudo neste trabalho.

Um quarto ponto, e este da ponta de vista mais prática, seria aplicar medidas de melhoria de desempenho aos dois casos (português e espanhol) e ver no que manifestaria em termos de classe energética.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] Leal, V. *Formação de Projectistas e Peritos SCE-RCCTE*, Julho 2007.
- [2] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril – Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).
- [3] Real Decreto 314/2006 de 17 de Marzo – por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- [4] Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio – por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- [5] Código Técnico de la Edificación. Acesso em 05/01/2012. Disponível em: <http://codigotecnico.org/web/>.
- [6] Ministerio de Vivienda, *Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE: Ahorro de Energía*, Madrid, Abril 2009.
- [7] Agencia Andaluza de Promoción Exterior. Acesso em 21/02/2012. Disponível em: <http://www.aesma.es/>.
- [8] Asociación Ibérica de Poliestireno Extrudido. Acesso em 22/02/2012. Disponível em: <http://www.aipex.es/>.
- [9] Direcção Geral de Energia e Geologia. Acesso em 22/02/2012. Disponível em: <http://www.dgge.pt/>.
- [10] Sunyer, J. N. *Comparative analysis of the Portuguese and Spanish thermal regulations regarding the European Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings*. Dissertação em Mestrado. Lisboa, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Maio 2010.
- [11] Coelho, P. M. R. *Análise do RCCTE no contexto da regulamentação europeia*. Dissertação em Mestrado. Lisboa, Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Abril 2011.
- [12] SANTOS, C. A. Pina dos; PAIVA, J. A. Vasconcelos, *Caracterização térmica de paredes de alvenaria – ITE 12*. Lisboa, LNEC, 2008.
- [13] SANTOS, C. A. Pina dos; MATIAS, L. *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – ITE 50*. Lisboa, LNEC, 2007.
- [14] Instituto para La Diversificación y Ahorro de La Energia. Acesso em 21/02/2012. Disponível em: <http://www.idae.es/>.
- [15] Camelo, S.; Dos Santos, C. P.; Ramalho, A.; Horta, C.; Gonçalves, H.; Maldonado, E. *Reglamento das Características do Comportamento Térmico dos edifícios, Manual de Apoio à Aplicação do RCCTE*. Lisboa 2006.

- [16] Chaves, F. *Instalações de Climatização e Refrigeração 1ª Parte. Mestrado em Manutenção Térmica de Edifícios*. Abrantes, Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, Ano lectivo 2009-2010.
- [17] Agência para a Energia – ADENE. Acesso em 05/03/2012. Disponível em: <http://www.adene.pt/>.

7 ANEXOS

7.1 Zona climática – Tabela D.1 do DB-HE1

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

7.2 Folha de cálculo FCIV. 1ª - RCCTE

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Parede Exterior	121,62	0,46	55,95
Pontes térmicas planas (Pilares e vigas)	21,54	0,6	12,92
Porta Entrada	5,76	0,95	5,47
Caixa de Estore	11,24	0,73	8,21
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			82,55

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Pavimentos Exteriores	50,86	0,61	31,02
			0,00
			0,00
TOTAL			31,02

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura Exterior Inclinação	196,84	0,50	98,42
			0,00
			0,00
TOTAL			98,42

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada com os pavimentos sobre loc. não aquec.	93,75	0,69	64,69
Fachada com pavimentos intermédios	47,90	0,24	11,50
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	71,50	0,68	48,62
Fachada com varanda	33,25	0,39	12,97
Duas paredes verticais	28,70	0,20	5,74
Fachada com caixa de estore	0,00	0,00	0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	94,43	0,20	18,89
Outras			0,00
TOTAL			162,40

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	374,39
--------------	---------------

7.3 Folha de cálculo FCIV. 1b - RCCTE

Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede Contacto Garagem	17,15	0,46	0,80	6,31
Parede Contacto Lavandaria	15,66	0,46	0,80	5,76
Pilar Contacto Garagem	1,89	0,58	0,80	0,88
Porta Contacto Lavandaria	1,6	0,88	0,80	1,13
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				14,08

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Laje Sanitária	150,18	0,57	0,9	77,04
Pavimento sobre Lavandaria	2,92	0,57	0,8	1,33
				0,00
TOTAL				78,37

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Fachada com os pavimentos sobre loc. não aquec.	22,5	0,69	0,8	12,42
Fachada com pavimentos intermédios	1,65	0,24	0,8	0,32
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	22,5	0,68	0,8	12,24
Duas paredes verticais	5,4	0,2	0,8	0,86
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	27,65	0,2	0,8	4,42
TOTAL				30,26

Perdas pela envolvente interior
da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	122,72
--------------	---------------

7.4 Folha de cálculo FCIV. 1c - RCCTE

Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
E_E1	8,04	2,2	17,69
E_E2	8,4	2,2	18,48
E_E3	8,04	2,2	17,69
E_E4	3,36	2,5	8,40
E_E5	3,66	2,5	9,15
S_E1	8,04	2,2	17,69
S_E2	6,48	2,2	14,26
W_E1	6,84	2,2	15,05
W_E2	11,55	2,2	25,41
W_E3	5,99	2,2	13,18
W_E4	5,99	2,2	13,18
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			170,16

7.5 Folha de cálculo FCIV. 1d - RCCTE

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento	374,52	(m ²)
	x	
Pé-direito médio	1,9	(m)
	=	
Volume interior (V)	711,59	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumpra a NP 1037-1? (S ou N) se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia (s/c, 1, 2 ou 3)

Caixas de Estore (S ou N)

Classe de Exposição (1, 2, 3 ou 4)

(Ver Quadro IV.2)

Aberturas Auto-reguladas? (S ou N)

Área de envidraçados > 15%
Ap? (S ou N)

Portas Exteriores bem vedadas? (S ou N)

Taxa de Renovação Nominal:
Ver Quadro IV.1
RPH = <input type="text" value="1"/>

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de Insuflação Vins - (m³/h)

Vf =

Caudal Extraído Vev - (m³/h)

Diferença entre Vins e Vev (m³/h)

V = <input type="text" value="0"/>
(volume int) RPH

Infiltrações (Vent. Natural) Vx - (h⁻¹)

Recuperador de calor	(S ou N)	N	se SIM, $\eta =$	
			se NÃO, $\eta =$	0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0	$(V_f / V + V_x) \cdot (1 - \eta)$	
Consumo de Electricidade para os ventiladores		0	$(E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \text{ M(kWh)})$	

Volume	711,59	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	1	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	241,94	(W/°C)

7.6 Folha de Cálculo FCIV. 1e - RCCTE

Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
E	Duplo	8,04	0,56	0,78	0,48	0,7	0,9	1,06
E	Duplo	8,4	0,56	0,78	0,55	0,7	0,9	1,27
E	Duplo	8,04	0,56	0,78	0,49	0,7	0,9	1,08
E	Duplo	3,36	0,56	0,78	0,78	0,7	0,9	0,72
E	Duplo	3,66	0,56	0,78	0,54	0,7	0,9	0,54
S	Duplo	8,04	1	0,78	0,33	0,7	0,9	1,30
S	Duplo	6,48	1	0,78	0,48	0,7	0,9	1,53
W	Duplo	6,84	0,56	0,78	0,59	0,7	0,9	1,11
W	Duplo	11,55	0,56	0,78	0,55	0,7	0,9	1,75
W	Duplo	5,99	0,56	0,78	0,53	0,7	0,9	0,87
W	Duplo	5,99	0,56	0,78	0,48	0,7	0,9	0,79

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)

12,04

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sul})

na

zona

12

do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m².mês)

93

x

Duração da estação de aquecimento - do
Quadro III.1

(meses)

6,3

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

7053,20

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)

4 (W/m²)

x

Duração da Estação de
Aquecimento

6,30 (meses)

x

Área Útil de pavimento

374,52 (m²)

x

0,72

=

Ganhos Internos Brutos

6795,29 (kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

13848,49
39714,21

Inércia do edifício: 3a = 4,2 $\gamma =$ 0,348703805

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Solares

(η)

0,992167253

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

13848,49

=

Ganhos Úteis Totais
(kWh/ano)13740,02311

7.7 Folha de cálculo FCIV. 1f - RCCTE

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		121,62
Coberturas exteriores		196,84
Pavimentos exteriores		50,86
Envidraçados exteriores		76,39
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		26,25
Coberturas interiores		0
Pavimentos interiores		137,498
Envidraçados interiores		0
Área total:		609,46
		/
Volume (de FCIV.1d):		711,59
		=
FF		0,856473

Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1) **1820**

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar 76,39
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	100,3949
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	103,2768
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	129,357

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) **100,3949**

7.8 Folha de cálculo FCIV. 2 - RCCTE

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	374,39
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	122,72
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	170,16
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	241,94

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	909,21
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1820,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	39714,21
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	13740,02
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	25974,18
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	374,52
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	69,35326073
	<
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	100,39

Verifica O.K.

7.9 Folha de cálculo FCV. 1a - RCCTE

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	82,55	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	31,02	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)	98,42	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)	170,16	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	241,94	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	624,09	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		19	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	624,09	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q1b)	10964,10	(kWh)

7.10 Folha de cálculo FCV. 1b - RCCTE

Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Cobertura	196,84	0,5	98,42
			0,00
			0,00
TOTAL			98,42

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
E_E1	8,04	2,2	17,69
E_E2	8,4	2,2	18,48
E_E3	8,04	2,2	17,69
E_E4	3,36	2,5	8,40
E_E5	3,66	2,5	9,15
S_E1	8,04	2,2	17,69
S_E2	6,48	2,2	14,26
W_E1	6,84	2,2	15,05
W_E2	11,55	2,2	25,41
W_E3	5,99	2,2	13,18
W_E4	5,99	2,2	13,18
			0,00
			0,00
TOTAL			170,16

7.11 Folha de cálculo FCV. 1c - RCCTE

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

Orientação	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (<i>inclui paredes e cobertura</i>)						
	PE1	PE1	PE1	PE1	PTP	PTP	PTP
	Norte	Sul	Este	Oeste	Norte	Sul	Este
Área, A (m ²)	36,11	25,36	19,63	40,52	4,13	1,97	3,82
	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m ² °C)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,6	0,6	0,6
	x	x	x	x	x	x	x
Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	6,64	4,67	3,61	7,46	0,99	0,47	0,92
	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefecimento (kWh/m ²) (Quadro III.9)	200	420	450	450	200	420	450
	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	53,15	78,39	65,01	134,20	7,93	7,94	16,50

7.12 Folha de cálculo FCV. 1d - RCCTE

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	E	E	E	E	E	S	S
Área, A (m ²)	8,04	8,4	8,04	3,36	3,66	8,04	6,48
	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado (protecção solar activada a 70%)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs	0,51	0,59	0,58	0,88	0,5	0,44	0,54
	x	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,75	0,75
	=	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, Ae	0,63	0,77	0,72	0,46	0,28	0,48	0,48
	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	450	450	450	450	450	420	420
	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	285,45	345,01	324,63	205,84	127,40	202,81	200,61

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores (Continuação)

Orientação	W	W	W	W
Área, A (m ²)	6,84	11,55	5,99	5,99
	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado (protecção solar activada a 70%)	0,26	0,26	0,26	0,26
	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,7	0,7	0,7	0,7
	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs	0,56	0,55	0,57	0,55
	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,85	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=
Área Efectiva, Ae	0,59	0,98	0,53	0,51
	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	450	450	450	450
	=	=	=	=
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	266,65	442,23	237,69	229,35
	TOTAL			
	266,65	442,23	237,69	229,35
	2867,66			
	(KWh)			

7.13 Folha de cálculo FCV. 1e - RCCTE

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m ²)	374,52	
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos Totais	4386,378	(KWh)

7.14 Folha de cálculo FCV. 1f - RCCTE

Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	2867,66	(KWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	1794,60	(KWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	4386,38	(KWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	9048,64	(KWh)

7.15 Folha de cálculo FCV. 1g - RCCTE

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	<div>9048,63 9</div>	(kWh)
	/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)	<div>10964,1 0</div>	(kWh)
	=	
Relação Ganhos-Perdas γ	<div>0,82529 7</div>	
Inércia do edifício (<i>In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3</i>)	<div>3</div>	
	<div>1</div>	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)	<div>0,87650 4</div>	
	=	
	<div>0,12349 6</div>	
	x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	<div>9048,64</div>	(kWh)
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	<div>1117,47</div>	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	<div>0,00</div>	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot 122$ (kWh))
	=	
TOTAL	<div>1117,47</div>	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	<div>374,52</div>	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	<div>2,98</div>	(kWh/m ² .ano)
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv (<i>Nº2 do Artigo 17º</i>)	<div>18</div>	(kWh/m ² .ano)

Verific
a

O.K.

7.16 Folha de cálculo AQS - RCCTE

Calculo das necessidades de energia para a preparação de água quente sanitária (N_{ac})

$N_{ac} = (Q_a / \eta_a - E_{solar} - E_{ren}) / A_p =$	4,167034	Nº ocupantes=	4
		$\Delta T =$	45
$Q_a = (M_{AQS} * 4187 * \Delta T * nd) / 3600000 =$	3056,51	nd=	365
		$\eta_a =$	0,8
$M_{AQS} = 40 \text{ litros} * n^\circ \text{ de ocupantes} =$	160	E _{solar} =	2260
		E _{ren} =	0
$N_a = (0.081 * M_{AQS} * nd) / A_p =$	12,63057	A _p =	374,52
Necessidades de Energia para preparação de águas quentes Sanitárias (N _{ac})			
			4,17 (kWh/m ² .ano)
Limite máximo para os valores das necessidades de Energia para preparação de AQS (N _a)			
			12,63 (kWh/m ² .ano)
Verifica O.K.			

7.17 Folha de cálculo energia primária - RCCTE

Calculo das necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc})

$N_{tc} = 0.1 * (N_{ic} / \eta_i) * F_{pui} + 0.1 * (N_{vc} / \eta_v) * F_{puv} + N_{ac} * F_{pua} =$	2,398452	F _{pui} =	0,29
		F _{puv} =	0,29
$N_t = 0.9 * (0.01 * N_i + 0.01 * N_v + 0.15 * N_a) =$	2,770681	F _{pua} =	0,086
		$\eta_i =$	1
		$\eta_v =$	3
		N _{ic} =	69,353
		N _{vc} =	2,98
		N _i =	100,39
		N _v =	18
Necessidades nominais anuais globais (N _{tc})			
			2,40 (kgep/m ² .ano)
Valor máximo admissível de energia primária (N _t)			
			2,77 (kgep/m ² .ano)
Verifica O.K.			

7.18 Mapa valores nominais - RCCTE

Mapa de Valores Nominais para o Edifício

Zona Climática	I 2	V2	Altitude	< 400m	
Graus-dias	1820 °C.dia	Duração de Aquec.	6,3 Meses	Temp. de Verão	19 °C

Fracção Autónoma	Morada T3
Ap (m²)	374,52
Taxa Ren. (RPH)	1,00
Nic (KWh/m².ano)	69,35
Ni (KWh/m².ano)	100,39
Nvc (KWh/m².ano)	2,98
Nv (KWh/m².ano)	18,00
Nac (KWh/m².ano)	4,17
Ntc (Kgep/m².ano)	2,40
Nt (Kgep/m².ano)	2,77

7.19 Levantamento dimensional - RCCTE

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

EDIFÍCIO:	Moradia Tipo T3 situada em Valença		
Área útil do pavimento	374,52 m ²	Pé direito médio (ponderado)	1,9 m

Elementos correntes da envolvente			Elementos em contacto com o solo		
	A (m ²)	U (W/m ² °C)		Comp. (m)	ψ (W/m ² °C)
PAVIMENTOS			PAVIMENTOS	0,00	0,00
Sobre exterior	50,86	0,61			
			PAREDES	0,00	0,00
Sobre área não-útil	150,18	0,57			
	2,92	0,57			
Total	203,96				
PAREDES			Pontes térmicas		
Exteriores (total)	121,62	0,46		Comp. (m)	ψ (W/m ² °C)
Interiores	98,28	1,51	FACHADA C/ PAV.:		
Total	219,90		térreo	0,00	0,00
COBERTURAS			intermédios	47,90	0,24
Terraço			sobre locais não		
Desvão			aquecidos ou	93,75	0,69
Não-ventilado			exteriores		
Ventilado			FACHADA COM:		
Inclinadas	196,84	0,50	cobertura	71,50	0,68
sob área não-útil			varanda	33,25	0,39
total	196,84		caixa de estore	0,00	0,00
			peitoril/padieira	94,43	0,20
			LIG. ENTRE DUAS	28,70	0,20
			PAREDES		

COEFICIENTE DE ABSORÇÃO - α	
PAREDE	COBERTURA
0,4	0,4

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL (CONTINUAÇÃO)

PAREDES EXTERIORES	ÁREAS (m ²) POR ORIENTAÇÃO								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	total
Parede dupla de tijolo (15cm + 11cm), com isolamento de 4cm e caixa-de-ar no seu interior e revestida na face exterior em reboco e na face interior em gesso projectado	36,11		19,63		25,36		40,52		121,62
VÃOS ENVIDRAÇADOS									
Envidraçado vertical de envolvente exterior, orientados a sul, este e oeste, com caixilharia de alumínio, com ruptura térmica, classificada como classe 3 quanto á permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor (5+12+6). Vão com protecção exterior através de estores de cor clara.			31,50		14,52		36,13		82,15

7.20 Demonstração de satisfação dos requisitos mínimos - RCCTE

DEMONSTRAÇÃO DE SATISFAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS PARA A ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS

Edifício Moradia situada em Valença

Fracção autónoma Tipo T3

Inércia térmica Forte

a) U máximo - Soluções adoptadas

Valores Máximos Regulamentares

<u>0,46</u>	Paredes Exteriores	<u>1,60</u>	W/m ² .°C
<u>0,50</u>	Coberturas Exteriores	<u>1,00</u>	W/m ² .°C
<u>0,61</u>	Pavim. s/ ext.	<u>1,00</u>	W/m ² .°C
<u>0,46</u>	Paredes interiores	<u>2,00</u>	W/m ² .°C
<u>0,57</u>	Pavim. Inter.	<u>1,30</u>	W/m ² .°C
	Cobert. Inter.		W/m ² .°C
<u>0,60</u>	Pontes térmicas	<u>0,92</u>	W/m ² .°C

b) Factores solares dos envidraçados
Soluções adoptadas-Verão

Valores Máximos
regulamentares:

Tipo de protecção solar	<u>persiana de réguas metálicas de cor clara g=0,04</u>	<u>0,56</u>
Tipo de protecção solar		
Tipo de protecção solar		

c) Pontes térmicas planas

Soluções adoptadas		Valor Máximo regulamentar: U	
<u>0,60</u>	W/m ² .°C	<u>0,92</u>	W/m ² .°C
<u>0,58</u>	W/m ² .°C	<u>0,92</u>	W/m ² .°C